



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**“CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN PIRÓMETRO  
DE INMERSIÓN PARA MEDIR LAS TEMPERATURAS EN LOS  
HORNO DE MATERIALES NO FERROSOS EN LA FACULTAD  
DE MECÁNICA DE LA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO”**

**EDGAR ARTURO POMAQUERO SANGA**

## **TESIS DE GRADO**

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERO INDUSTRIAL**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2013**

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS**

---

Abril 12, de 2013

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**EDGAR ARTURO POMAQUERO SANGA**

---

Titulada:

**“CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN PIRÓMETRO DE  
INMERSIÓN PARA MEDIR LAS TEMPERATURAS EN LOS HORNOS DE  
MATERIALES NO FERROSOS EN LA FACULTAD DE MECANICA DE LA  
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO INDUSTRIAL**

---

Ing. Geovanny Novillo Andrade  
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. José Pérez Fiallos  
DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Marco Almendariz Puente.  
ASESOR DE TESIS

---

## CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** EDGAR ARTURO POMAQUERO SANGA

**TÍTULO DE LA TESIS:** “CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN PIRÓMETRO DE INMERSIÓN PARA MEDIR LAS TEMPERATURAS EN LOS HORNOS DE MATERIALES NO FERROSOS EN LA FACULTAD DE MECANICA DE LA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”

**Fecha de Examinación:** Abril 12, de 2013

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

| COMITÉ DE EXAMINACIÓN                                    | APRUEBA | NO APRUEBA | FIRMA |
|--|---------|------------|-------|
| Ing. Gloria Miño Cascante.<br>(PRESIDENTE TRIB. DEFENSA) |         |            |       |
| Ing. José Pérez Fiallos.<br>(DIRECTOR DE TESIS)          |         |            |       |
| Ing. Marco Almendariz Puente.<br>(ASESOR DE TESIS)       |         |            |       |

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Ing. Gloria Miño Cascante  
f) Presidente del Tribunal

## **CERTIFICACIÓN**

Ing. JOSÉ PÉREZ, Ing. MARCO ALMENDARIZ, en su orden Director y Asesor del Tribunal de Tesis de Grado desarrollado por el señor Egresado: **EDGAR ARTURO POMAQUERO SANGA**

### **CERTIFICAN:**

Que luego de revisada la Tesis de Grado en su totalidad, se encuentra que cumple con las exigencias académicas de la Escuela de Ingeniería Industrial, carrera INGENIERÍA, por lo tanto autorizamos su presentación y defensa.

Ing. José Pérez Fiallos.  
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Marco Almendariz Puente  
ASESOR DE TESIS

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El presente trabajo de grado que presento, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de autor. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

Pomaquero Sanga Edgar Arturo

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por ser el creador y autor de mi vida. A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería Industrial, por formarme con conocimientos académicos sólidos y brindarme la oportunidad de obtener una profesión y ser una persona útil a la sociedad. A la Facultad de Mecánica por permitirme brindar de mis conocimientos en la implementación de mi tesis. Al Ingeniero José Pérez como Director e Ingeniero Marco Almendariz como Asesor gracias por sus concejos, enseñanzas y su entrega incalculable.

Y con un valor muy especial para mis familiares, amigos, amigas, compañeros, compañeras y personas que me apoyaron de una u otra manera para culminar con éxito una etapa de mi vida.

***Edgar Arturo Pomaquero Sanga.***

## DEDICATORIA

A mi Padre celestial quien ha sido el promotor de mis éxitos y de mis logros. Con mucha humildad publico este principio que edifico mi vida, “Buscar primeramente el reino de Dios y su justicia y lo demás vendrá por añadidura”. A mis padres **Fidel Pomaquero** y **Ana Sanga** por su amor, cuidado, paciencia y confianza. Si describiera todas las virtudes y cualidades de estas dos grandes personas me faltarían tinta y papel. A mi hermano Caleb por ser mi inspiración y a mi hermano **Darwin** por su apoyo firme en cada etapa de mi carrera, a mis tíos y tías; quienes con su amor, comprensión y su apoyo incondicional para que este sueño se hagan realidad. A mis primas y primos quienes con sus palabras de ánimo y buenos deseos formaron parte fundamental para continuar en este proceso.

Cómo olvidarme de mis grandes amigos y amigas que desde la infancia siempre estuvieron presente y de aquellos que fueron apareciendo en el camino de la vida, me refiero a los grupos juveniles: **ANFAC**, **Bethel** y **Generación de Conquistadores**, con quienes compartimos tantos momentos gratos e inolvidables.

*Edgar Arturo Pomaquero Sanga.*

# CONTENIDO

|   | <b>Pág.</b> |
|---|-------------|
| <b>1. INTRODUCCIÓN</b>  | <b>1</b>    |
| 1.1 Antecedentes  | 1           |
| 1.2 Justificación   | 2           |
| 1.3 Objetivos   | 3           |
| 1.3.1 Objetivo general  | 3           |
| 1.3.2 Objetivos específicos                                     | 3           |
| <b>2. MARCO TEÓRICO</b>   | <b>4</b>    |
| 2.1. Materiales no ferrosos.                                    | 4           |
| 2.1.1 Aluminio.   | 5           |
| 2.1.1.1 Definición.   | 5           |
| 2.1.1.2 Propiedades físicas del Aluminio.                       | 5           |
| 2.1.1.3 Características del Aluminio.                           | 5           |
| 2.1.2 Bronce.   | 7           |
| 2.1.2.1 Definición.   | 7           |
| 2.1.2.2 Propiedades físicas del Bronce.                         | 7           |
| 2.1.3 Estaño.   | 8           |
| 2.1.3.1 Definición.   | 8           |
| 2.1.3.2 Propiedades físicas del Estaño.                         | 9           |
| 2.1.3.3 Aleaciones más importantes.                             | 9           |
| 2.1.4 Zinc o Cinc.  | 10          |
| 2.1.4.1 Definición.   | 10          |
| 2.1.4.2 Propiedades físicas del Zinc.                           | 10          |
| 2.2. Hornos de Crisol para materiales no ferrosos.              | 11          |
| 2.2.1 Principios de funcionamiento del horno crisol basculante. | 12          |
| 2.2.2 Formas de calentamiento de horno crisol.                  | 14          |
| 2.3 Elementos para la construcción del pirómetro de inmersión.  | 16          |
| 2.3.1 Sensor de temperatura.                                    | 16          |
| 2.3.1.1 Detector de resistencia metálica.                       | 16          |
| 2.3.1.2 Termistores.  | 17          |
| 2.3.1.3 Sensor de circuito Integrado IC.                        | 18          |
| 2.3.1.4 Termocuplas o termopares.                               | 18          |
| 2.3.2 Protector metálico.                                       | 27          |
| 2.3.2.1 Materiales Para la protección metálica.                 | 31          |
| 2.3.3 Control de temperatura digital.                           | 36          |
| 2.3.3.1 Indicador de temperatura.                               | 37          |
| 2.4 Diseño Conceptual.  | 38          |
| 2.4.1 Generación de alternativas.                               | 39          |
| 2.5 Diseño preliminar.  | 40          |
| 2.5.1 Matriz de selección o evaluación.                         | 40          |
| 2.6 Diseño detallado.   | 41          |
| 2.6.1 Planos de Ingeniería.                                     | 41          |



|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| <b>3.</b> | <b>ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA FACULTAD DE MECANICA</b>                   | <b>42</b>  |
| 3.1       | Información general   | 42         |
| 3.1.1     | Identificación de la Facultad.  | 42         |
| 3.1.2     | Localización.   | 43         |
| 3.1.3     | Productos de bienes.  | 43         |
| 3.1.4     | Misión y Visión.  | 44         |
| 3.1.4.1   | Misión.   | 44         |
| 3.1.4.2   | Visión.   | 44         |
| 3.2       | Distribución del taller de fundición.   | 45         |
| <b>4.</b> | <b>DISEÑO DEL PIRÓMETRO DE INVERSIÓN</b>  | <b>46</b>  |
| 4.1       | Diseño conceptual   | 46         |
| 4.1.1     | Método de generación de ideas.  | 46         |
| 4.1.2     | Especificaciones para el diseño.  | 48         |
| 4.1.3     | Matriz Morfológica.   | 49         |
| 4.2       | Diseño preliminar.  | 56         |
| 4.2.1     | Matriz de evaluación.   | 57         |
| <b>5.</b> | <b>CONSTRUCCIÓN DEL PIRÓMETRO DE INMERSIÓN</b>                                      | <b>63</b>  |
| 5.1       | Seguridad para la construcción e implementación.                                    | 63         |
| 5.1.1     | Seguridad en el taller.   | 63         |
| 5.1.2     | Higiene en el taller.   | 63         |
| 5.1.3     | Ropa y equipo de trabajo.   | 64         |
| 5.2       | Seguridad en el taller mediante el programa de aplicación metodológica de las “5S”. | 64         |
| 5.3       | Maquinas herramientas y equipos a utilizar.   | 73         |
| 5.4       | Lista de elementos de ensamble.   | 74         |
| 5.5       | Proceso de fabricación a utilizar.  | 75         |
| 5.6       | Montaje del pirómetro.  | 80         |
| <b>6.</b> | <b>PRUEBAS Y RESULTADOS DEL PIRÓMETRO DE INMERSIÓN</b>                              | <b>85</b>  |
| 6.1       | Guía de prácticas en el taller.   | 85         |
| 6.2       | Prueba a punto del instrumento.   | 96         |
| 6.2.1     | Blindaje del pirómetro de inmersión.  | 96         |
| 6.2.2     | Sensor del pirómetro de inmersión.  | 101        |
| 6.2.3     | Compuesto químico del pirómetro de inmersión.                                       | 101        |
| 6.2.4     | Indicador de temperatura del pirómetro de inmersión.                                | 102        |
| 6.3       | Prueba de funcionamiento.   | 103        |
| <b>7.</b> | <b>COSTOS</b>   | <b>104</b> |
| 7.1       | Costos Directos.  | 104        |
| 7.1.1     | Costos de materiales mecánicos.   | 104        |
| 7.1.2     | Costos de materiales eléctricos y electrónicos.                                     | 105        |

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| 7.1.3     | Costos de maquinarias y equipos utilizados o comprados.                   | 106        |
| 7.1.4     | Valor total de los costos Directos.                                       | 108        |
| 7.2       | Costos Indirectos.  | 108        |
| 7.3       | Costos totales.   | 109        |
| <b>8.</b> | <b>MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL<br/>PIRÓMETRO DE INMERSIÓN</b> | <b>110</b> |
| 8.1       | Manual de operación.  | 110        |
| 8.2       | Manual de mantenimiento.  | 111        |
| 8.2.1     | Mantenimiento por operación.  | 111        |
| 8.2.2     | Mantenimiento del instrumento.  | 111        |
| <b>9.</b> | <b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>                                     | <b>113</b> |
| 9.1       | Conclusiones  | 113        |
| 9.2       | Recomendaciones   | 116        |

#### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

#### **BIBLIOGRAFÍA**

#### **LINKOGRAFÍA**

#### **ANEXOS**

## LISTA DE TABLAS

|  | <b>Pág.</b> |
|--|-------------|
| 1 Aleación de Aluminio.  | 6           |
| 2 Bronce (Aleación Cobre y Estaño)   | 7           |
| 3 Principales tipos de combustibles usados en la operación<br>de los hornos de crisol.               | 14          |
| 4 Características de la vaina metálica.  | 31          |
| 5 Límites de velocidad cm\s con respecto al material.  | 35          |
| 6 Límites superiores de temperatura con respecto al diametro de la vaina.                            | 35          |
| 7 Propiedades del acero inoxidable.  | 52          |
| 8 Propiedades del Inconel de Níquel-Cromo-Hierro aleación 600.                                       | 53          |
| 9 Propiedades de los materiales cerámicos.   | 54          |
| 10 Asignación y valoración de la matriz de evaluación.   | 57          |
| 11 Matriz de evaluación.   | 58          |
| 12 Catálogo de blindaje metálico.  | 60          |
| 13 Significados y propósitos de las “5 S”  | 65          |
| 14 Aplicación de Seiri (Clasificación)   | 66          |
| 15 Aplicación de Seiton (Organización)   | 67          |
| 16 Aplicación Seiso (Limpieza)   | 70          |
| 17 Aplicación Seiketsu (Estandarización)   | 71          |
| 18 Equipos y herramientas utilizados en la construcción.   | 73          |
| 19 Elementos de ubicación o de ensamble.   | 75          |
| 20 Partes constructivas del instrumento.   | 76          |
| 21 Operación tecnológica ejecutada en la construcción del instrumento del<br>pirómetro de inmersión. | 77          |
| 22 Cursograma sinóptico de la construcción.  | 79          |
| 23 Diagrama de procesos de fundición de material no ferroso.   | 95          |
| 24 Propiedades mecánicas del acero Inconel aleación 600.   | 96          |
| 25 Propiedades generales del acero Inconel aleación 600.   | 97          |
| 26 Propiedades térmicas del acero Inconel aleación 600.  | 98          |
| 27 Costos materiales y accesorios mecánicos.   | 104         |
| 28 Costos de materiales y accesorios eléctricos, electrónicos.                                       | 105         |
| 29 Costos por maquinarias y equipos utilizados o adquiridos.   | 107         |

|    |   |     |
|----|---|-----|
| 30 | Valor total de costos directos.             | 108 |
| 31 | Costos indirectos.                          | 108 |
| 32 | Problemas frecuentes y posibles soluciones. | 112 |

## LISTA DE FIGURAS

|   | <b>Pág.</b> |
|---|-------------|
| 1 Bauxita.  | 5           |
| 2 Casiterita.   | 9           |
| 3 Blenda.   | 10          |
| 4 Calamina.   | 10          |
| 5 Horno de crisol movil y estacionario.   | 12          |
| 6 Horno de crisol basculante.   | 13          |
| 7 Vista superior del horno de crisol basculante.                                    | 13          |
| 8 Trasductor.   | 16          |
| 9 Esquema de un termopar.   | 19          |
| 10 Diagrama de f.e.m para termopares.   | 22          |
| 11 Codigo de color en cable de extencion tipo K.                                    | 23          |
| 12 Codigo de colores internacional para cables e hilos de compensación y extensión. | 26          |
| 13 Protector metalico.  | 27          |
| 14 Costrucción tipo acodada.  | 28          |
| 15 Costruccion tipo recta.  | 28          |
| 16 Termopar de alisamiento mineral.   | 29          |
| 17 Diagrama de bloque que representa todas las etapas del sistema desarrollado.     | 36          |
| 18 Indicador de temperatura.  | 37          |
| 19 Etapa del diseño de proceso.   | 38          |
| 20 Especificaciones de diseño.  | 38          |
| 21 Facultad de Mecanica.  | 44          |
| 22 Grupo de aporte de ideas.  | 46          |
| 23 Vaina a 45 <sup>0</sup> , con interuptor macho.                                  | 47          |
| 24 Vaina vertical con cabeza de conexión.   | 47          |
| 25 Vaina a 90 <sup>0</sup> , con cabeza de conexión.                                | 48          |
| 26 Termocupla tipo K.   | 59          |
| 27 Vaina Inconel alloy 600.   | 59          |
| 28 Indicador de temperatura modelo DC1010CT111000-E.                                | 59          |
| 29 Partes del indicador de temperatura modelo DC1010CT111000-E.                     | 61          |

|      |   |     |
|------|---|-----|
| 30   | Diseño final del Instrumento.                               | 61  |
| 31   | Mediadas de cada una de las partes del horno de crisol.     | 62  |
| 32   | Medida del Pirómetro en función del horno.                  | 62  |
| 33   | Caja termica con el controlador de temperatura y el breque. | 80  |
| 34   | Vaina con enchufe recubierto.                               | 80  |
| 35   | Sensor de temperatura.                                      | 81  |
| 36   | Ampliacion de la junta caliente.                            | 81  |
| 37   | Ampliacion del enchufe de conexión (macho y hembra)         | 82  |
| 38   | Conexion del indicador de temperatura.                      | 82  |
| 39   | Conexion enchufe (hembra)                                   | 82  |
| 40   | Conexion del termopar al controlador de temperatura.        | 83  |
| 41   | Pirometro de inmersion ensamblado.                          | 83  |
| 42   | Pirometro de inmesion en el horno crisol.                   | 84  |
| 43   | Muestra de la temperatura ambiente en el indicador digital. | 84  |
| 4044 | Arena de moldeo.  | 91  |
| 45   | Secado de los bordes del molde.                             | 92  |
| 46   | Ensendido del horno crisol.                                 | 92  |
| 4417 | Colocacion del material.                                    | 93  |
| 4428 | Pirometro de inmersion en el puesto de trabajo.             | 93  |
| 49   | Ubicacion de la colada en la cuchara.                       | 93  |
| 50   | Solidificacion y enfriamiento de la pieza.                  | 94  |
| 51   | Grafica temperatura en funsion del tiempo.                  | 102 |
| 52   | Inmersion del pirometro en el horno de crisol.              | 103 |

## LISTA DE ABREVIACIONES

|  |   |
|--|---|
| A  | Área  |
| $\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ | Bauxita   |
| $\text{Al}_2\text{O}_3$                          | Oxido de Aluminio.  |
| ANSI   | Instituto Nacional de Normas Americanas (American National Standards Institute)           |
| ASTM   | Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (American Society for Testing and Materials) |
| AND  | Operador lógico   |
| Bi   | Bismuto   |
| BS   | Normas Británicas   |
| Cd   | Cadmio  |
| $\text{cm}^3$ .                                  | Centímetros cubos   |
| CNT  | Coeficiente Negativo de Temperatura   |
| CPT  | Coeficiente Positivo de Temperatura   |
| CEDICOM  | Centro de Diseño y Construcción de Maquinarias  |
| Cr   | Cromo   |
| C  | Costos  |
| CD   | Costos Directos   |
| $\text{CO}_2$                                    | Dióxido de Carbono  |
| $\text{dm}^3$                                    | Decímetro cubico  |
| DIN  | Normas Industriales Alemanas (Deutsche Industrie-Normen)                                  |
| D  | Durabilidad   |
| E  | Eficiencia  |
| etc.   | Etcétera  |
| Fem  | Fuerza Electromotriz  |
| Fe   | Hierro  |
| gr   | Gramo   |
| GPa  | Gigapascals   |
| in   | Pulgada   |
| IC   | Circuito Integral   |
| J  | Joule   |
| Kg   | Kilogramo   |
| Km   | Kilómetros  |
| KN   | Kilonewton  |
| L  | Longitud  |
| Lb   | Libras  |

|                 |  |
|-----------------|--|
| Log             | Logaritmo  |
| m               | Metro  |
| mm <sup>2</sup> | Milímetro cuadrados  |
| Mo              | Molibdeno  |
| Mf              | Manufactura  |
| Mn              | Mantenimiento  |
| min             | Minuto   |
| mmHg            | Milímetros de mercurio   |
| m/s             | Metros por segundos  |
| Max             | Máximo   |
| No.             | Número   |
| NFE             | Normas Francesas   |
| Ni              | Níquel   |
| Ohm             | Ohmios   |
| P               | Peso   |
| Pulg            | Pulgadas   |
| Pb              | Pomo   |
| Pt              | Platino  |
| Ph              | Potencial Hidrogeno  |
| RTD             | Detector de resistencia Metalica   |
| R               | Resistencia  |
| SnO2            | Oxido de estaño  |
| S               | Seguridad  |
| 5S              | Seiri, serton, seiso, seiketsu y shitsuke (clasificación, organización, limpieza, estandarización y disciplina, respectivamente) |
| T               | Temperatura  |
| t               | Tamaño   |
| Tf              | Temperatura final  |
| To              | Temperatura inicial  |
| Usd             | United States Dollars (Dólar de los Estados Unidos)  |
| mV              | Mili Voltio  |
| vs.             | Versus   |
| cd/m2           | Candela por metro cuadrado   |
| μPa             | Micro Pascales   |
| °F              | Grados Fahrenheit  |
| °C              | Grados Celsius   |



|                    |                  |
|--------------------|------------------|
| $^{\circ}\text{K}$ | Grados Kelvin    |
| %                  | Tanto por ciento |
| $\varnothing$      | Diámetro         |
| 2D                 | Dos dimensiones  |
| $\triangle$        | Sumatoria        |
| $\Omega$           | Ohmios           |

## **RESUMEN**

La presente investigación tiene como objetivo, Construir e implementar un pirómetro de inmersión para medir las temperaturas en los hornos de materiales no ferrosos en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Con la finalidad de aportar al desarrollo científico y tecnológico en el taller de fundición.

Este trabajo está enfocado a lograr un instrumento que nos permita obtener medidas cuantitativa en el proceso de fundición de los materiales no ferrosos. Adicional a esto se realizó un diseño conceptual, basado en el método de generación de ideas con especificaciones en el diseño y presentando todas las alternativas en una matriz morfológica, finiquitando con un diseño preliminar fundamentado en una matriz de evaluación.

El instrumento que se caracteriza de un blindaje metálico inconel aleación 600 en su parte externa, mientras que en su parte interna consiste de un termopar que se encuentra apisonada con su aislamiento estándar de pureza (96%), magnesio mineral de óxido, brindando una conductividad térmica eficiente, buena resistencia a la deformación, al alargamiento, a la tensión y al esfuerzo en función de la temperatura. Resultados que permiten proponer indicadores de confiabilidad ya que fue diseñado y construido para medir las temperaturas e indicar valores numéricos mediante el controlador digital.

Con la implementación de este instrumento, se pretende cooperar en la formación de los estudiantes permitiendo que logren dejar el proceso empírico de medición y pase a desarrollar un proceso técnico en los hornos de crisol de los talleres de la Facultad de Mecánica. De esta manera complementando los conocimientos teóricos.

## **ABSTRACT**

The present investigation has as aim, to build and implement a pyrometer of immersion to measure the temperatura in the ovens of non-ferrous materials in the Mechanics Faculty of the Higher School polytechnic of Chimborazo, with the finality to provide to the scientific and technologic development in the melting down workshop.

This work is focused on achieving an instrument that allows us to obtain quantitative measurements in the melting down process of non-ferrous materials. Furthermore to this, it was made a conceptual design, based on the generating method of ideas with specifications in designing and showing all the alternatives within a morphological matrix, finishing with a previous design base don an evaluation matrix.

The instruments characterizing a metallic shield Inconel alloying 600 on its external part, meanwhile in its internal part consist on a thermocouple, which is found earthen it floor with its standard isolation of purity (96%), mineral magnesium of oxide, offering an efficient thermic conductivity, good resistance to deformation, elongation, tension, and effort in function of temperature. The outcomes that allows proposing reliability indicators to gauge temperatures and to indicate nematical values through the digital controller.

With the implementation of this istrument, it is pretended to cooperate in the formation of students, reaching to leave the empiric process of measurement and pass to develop a technical process in the melting pot ovens of workshops of the Mechanics Faculty. On this manner the theoretical knowledge is complemented.

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo desde su inicio se ha caracterizado por formar profesionales de excelencia en los campos académicos y competitivos en el ámbito laboral, aportando de esta forma al desarrollo de la provincia y del país.

Una de las fortalezas de la Facultad de Mecánica contar con talleres y laboratorios, que brindan las facilidades para complementar los conocimientos adquiridos, logrando una formación íntegra de los futuros profesionales que aquí se forjan. Poseer talleres donde el estudiante puede mejorar sus destrezas es una gran ventaja, ya que es una forma en la que se puede simular un ambiente de trabajo real.

La Facultad de Mecánica cuenta con un laboratorio de fundición en el cual desde su creación se ha realizado trabajos que han servido como prácticas en el área de fundición, los mismos que son el medio para fortalecer los conocimientos teórico-práctico impartido. Los hornos con los que cuenta el laboratorio son horno de cubilote, horno eléctrico de inducción y hornos de crisol para materiales no ferrosos que trabajan con fundición gris, bronce y aluminio siendo estos últimos el objeto en el que se basara el estudio.

En la actualidad las lecturas del proceso de fusión del Aluminio en el horno de Crisol se lo viene realizando de una manera empírica, que no complementa los conocimientos de los estudiantes ni permite obtener la finalización requerida en la teoría por cuestiones de fusión de la temperatura de materiales no ferrosos. Por ello la necesidad de implementar un instrumento denominado “Pirómetro de Inmersión” que permita mostrar valores numéricos de la temperatura en la fundición de materiales no ferrosos. Con el fin de obtener un control de temperatura en sus etapas de fundición.

## **1.2 Justificación**

La Facultad de Mecánica de la ESPOCH por ser una institución que alberga a cientos de asistentes entre estudiantes, docentes y trabajadores, no se encuentra exenta de demostrar un buen desempeño en los talleres que posee, por aquello se ve la necesidad en la facultad de implementar un pirómetro de Inmersión en el taller de fundición, que permitan obtener resultados cuantificables de los hornos de crisol que trabaja con materiales no ferroso.

Con el fin de aportar al desarrollo científico en la facultad de Mecánica, se pretende construir e implementar un pirómetro de inmersión que facilite a la mejora académica en hornos para materiales no ferrosos. Con ello cooperar en la formación de los estudiantes.

Las actividades que se realizan en el taller de fundición son expuestas a temperaturas muy altas en función del tiempo y no se puede identificar rangos de temperatura de los materiales no ferrosos que se encuentran en fundición, de acuerdo con estas consideraciones es necesario determinar su valor de temperatura de forma digital.

Sin embargo, el taller de fundición no ha pasado de su declaración de principios, razón de que en la práctica no ha protagonizado estas buenas intenciones con la elaboración e implementación del pirómetro de inmersión, que es motivo de la presente investigación.

Este trabajo está enfocado a lograr un instrumento que nos permita obtener medidas de temperatura, mediante un correcto proceso de construcción, el mismo que se desarrollará en los Talleres de fundición.

Por otra parte, con esta contribución se pretende facilitar que la Facultad de Mecánica y la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo logren dejar el proceso empírico de medición y pase a desarrollar un proceso técnico.

### **1.3    Objetivos**

1.3.1   *Objetivo general.* Construir e implementar un pirómetro de inmersión para medir las temperaturas en los hornos de materiales no ferrosos en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

1.3.2   *Objetivos Específicos.*

Identificar la situación actual del taller de fundición.

Realizar el diseño del pirómetro de inmersión para materiales no ferrosos.

Construir el pirómetro de inmersión para materiales no ferrosos.

Implementar el pirómetro de inmersión para el horno de crisol de materiales no ferrosos.

Comprobar el funcionamiento del pirómetro de inmersión.

Realizar los costos de construcción del pirómetro de inmersión.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Materiales no ferrosos. [1]

*Definición.* Los metales no ferrosos incluyen a todos los metales excepto al hierro. Su utilización no es tan masiva como los productos férreos (acero, hierro, fundición), pero tienen una gran importancia en la fabricación de gran cantidad de productos.

*Propiedades.* Los metales no ferrosos y sus aleaciones, son en general resistentes a la corrosión atmosférica y la oxidación.

Pero no es esta la única buena cualidad, que los hace recomendables para muchas aplicaciones, sino también la facilidad con que se moldean y mecanizan; la elevada resistencia mecánica en relación a su peso de algunas aleaciones; la gran conductividad térmica y eléctrica, y también su bella terminación desde el punto de vista decorativo.

*Clasificación.* Se pueden clasificar en tres grupos.

- Metales no ferrosos pesados: Son aquellos cuya densidad es igual o mayor a 5 gr/cm<sup>3</sup>. Se encuentran en este grupo el cobre, el estaño, el plomo, el cinc, el níquel, el cromo y el cobalto.
- Metales no ferrosos ligeros: Tienen una densidad comprendida entre 2 y 5 gr/cm<sup>3</sup>. Los más utilizados son el aluminio y el titanio.
- Metales no ferrosos ultraligeros: Su densidad es menor a 5 gr/cm<sup>3</sup>. Se encuentran en este grupo el berilio y el magnesio, aunque el primero de ellos raramente se encuentra en estado puro, sino como elemento de aleación.

### 2.1.1 Aluminio [2]

**2.1.1.1 Definición.** Es el metal más abundante en la naturaleza. Se encuentra como componente de arcillas, esquistos, feldespatos, pizarras y rocas graníticas, hasta constituir el 8 % de la corteza terrestre. No se encuentra en la naturaleza en estado puro, sino combinado con el oxígeno y otros elementos.

El mineral del que se obtiene el aluminio se llama bauxita  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , que está compuesto por alúmina y es de color rojizo (Figura 1).

Figura 1. Bauxita.



Fuente: <http://www.iestiempomodernos.com/depart/dtec/Recursos/metalesno-ferrosos.pdf>

#### 2.1.1.2 Propiedades físicas del Aluminio.

- Densidad: 2,7 kg/dm<sup>3</sup>
- Punto de fusión: 660 °C.
- Resistividad: 0,026  $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ .
- Resistencia a la tracción: 10 - 20Kg/mm<sup>2</sup>
- Alargamiento: 50%

**2.1.1.3 Características del aluminio.** Es muy ligero e inoxidable al aire, pues forma una película muy fina de óxido (de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) que lo protege. Es buen conductor de la electricidad y del calor. Se suele emplear en conducciones eléctricas (cables de alta tensión) por su bajo peso. Es muy maleable y dúctil.



El aluminio se utiliza normalmente aleado con otros metales con objeto de mejorar su dureza y resistencia. Pero también se comercializa en estado puro.

Tabla 1. Aleación de Aluminio.

| Tipo.                       | Aleación.   | Características\ aplicaciones.   |
|-----------------------------|---|--|
| ALEACIÓN                    | Aluminio + bronce<br>(Duraaluminio)                     | También se le conoce con el nombre de bronce de aluminio. Se usa en base de sartenes, llantas de coches, bicicletas, etcétera. |
|                             | Aluminio + magnesio                                     | Se emplea mayoritariamente en aeronáutica y en automoción.   |
|                             | Aluminio + cobre + silicio.                             | Ideal para obtener piezas de moldeo por inyección.   |
|                             | Aluminio + níquel + cobalto (alnico)                    | Con esta aleación se fabrican potentes imanes permanentes.   |
| Aluminio puro<br>(en polvo) | Mezclado con pintura protege muy bien de la intemperie. |  |

Fuente: Autor.

### 2.1.2 Bronce.

**2.1.2.1 Definición.** Bronce es toda aleación metálica de cobre y estaño en la que el primero constituye su base y el segundo aparece en una proporción del 3 al 20 por ciento.

**2.1.2.2 Propiedades físicas.** Datos para una aleación promedio con 89% de cobre y 11% de estaño:

- Densidad: 8,90 g/cm<sup>3</sup>.
- Punto de fusión: de 830 a 1020 °C
- Coeficiente de temperatura: 0,0006 K<sup>-1</sup>
- Resistividad eléctrica: de 14 a 16 μOhmio/cm
- Coeficiente de expansión térmica: entre 20 y 100 °C :17,00 x 10<sup>-6</sup> K<sup>-1</sup>
- Conductividad térmica a 23 °C: de 42 a 50 W<sup>m</sup>-1

Tabla.2. Bronce (Aleación de cobre y estaño).

| Aleación                            | Tipos\composición                                    | Algunas aplicaciones.           |
|-------------------------------------|--|---------------------------------|
| Bronce (aleación de cobre y estaño) | Ordinario. Solo lleva cobre y estaño (del 5 al 30%). | Campanas y engranajes.          |
|                                     | Especial. Lleva cobre, estaño y otros                | Esculturas y cables eléctricos. |

Fuente: Autor.

### 2.1.3 Estaño.

**2.1.3.1 Definición.** Es un metal bastante escaso en la corteza terrestre. Suele encontrarse concentrado en minas, aunque la riqueza suele ser bastante baja (del orden del 0,02%). El mineral de estaño más explotado es la casiterita ( $\text{SnO}_2$ ) (Figura 2).

El estaño puro tiene un color muy brillante. A temperatura ambiente se oxida perdiendo el brillo exterior, es muy maleable y blando, y pueden obtenerse hojas de papel de estaño de algunas décimas de milímetro de espesor.

En caliente es frágil y quebradizo. Por debajo de  $-18^\circ\text{C}$  empieza a descomponerse y a convertirse en un polvo gris. A este proceso se le conoce como enfermedad o peste del estaño. Cuando se dobla se oye un crujido denominado grito del estaño.

El estaño es un metal muy utilizado en centenares de procesos industriales en todo el mundo. En forma de hojalata, se usa como capa protectora para recipientes de cobre, de otros metales utilizados para fabricar latas, y artículos similares.

El estaño es importante en las aleaciones comunes de bronce (estaño y cobre), en la soldadura (estaño y plomo) y en el metal de imprenta (estaño, plomo y antimonio) (véase Metalistería). También se usa aleado con titanio en la industria aeroespacial, y como ingrediente de algunos insecticidas.

El sulfuro de estaño, conocido también como oro musivo, se usa en forma de polvo para broncear artículos de madera.

Figura 2. Casiterita.



### **2.1.3.2** *Propiedades físicas del estaño.*

- Densidad: 7,28 kg/dm<sup>3</sup>.
- Punto de fusión: 231 °C.
- Resistividad: 0,115  $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ .
- Resistencia a la tracción: 5 kg/mm<sup>2</sup>.
- Alargamiento: 40%.

### **2.1.3.3** *Aleaciones más importantes.*

- Bronce. Es una aleación de cobre y estaño.
- Soldaduras blandas. Son aleaciones de plomo y estaño con proporciones de estaño entre el 25 y 90%.
- Aleaciones de bajo punto de fusión. Las más importantes son:
  - Darcet (25 % Sn + 25 % Pb + 50 % Bi), que funde a los 97 °C.
  - Cerrolow (8,3% Sn + 22,6% Pb + 44,7% Bi + 5,3% Cd + 19,1 % In), que funde a los 47°C.

Una de las aplicaciones más importantes del estaño es la fabricación de hojalata, que consiste en recubrir una chapa de acero con dos capas muy finas de estaño puro. El estaño protege al acero contra la oxidación.

### **2.1.4** *Zinc o Cinc.*

**2.1.4.1** *Definición.* El cinc (del alemán *Zink*, también conocido como zinc por influencia del francés e inglés) es un elemento químico esencial de número atómico 30 y símbolo Zn. La forma con *c* inicial, «cinc», es preferida por la Real Academia Española por acomodarse mejor al patrón ortográfico del español, aunque la forma con *z*, «zinc», es más cercana a la etimología.

#### 2.1.4.2 Propiedades físicas.

- Densidad: 7,14 kg/dm<sup>3</sup>
- Punto de fusión: 419°C
- Resistividad: 0,057  $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$
- Resistencia a la tracción:
- Piezas moldeadas: 3 kg/mm<sup>2</sup>.
- Piezas forjadas: 20 kg/mm<sup>2</sup>.
- Alargamiento: 20%.

Es conocido desde la más remota antigüedad, pero no se consiguió aislarlo de otros elementos y, por tanto, obtenerlo en estado puro hasta el siglo XVII.

Los minerales más empleados en la extracción del cinc son:

- Blenda (SZn 40 a 50% de cinc) (Figura 3).
- Calamina (SiO<sub>4</sub>Zn<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O menor del 40% de cinc) (Figura 4).

Figura 3. Blenda.

Figura 4. Calamina.



Fuente: <http://www.iestiempomodernos.com/depart/dtec/Recursos/metalesno-ferrosos.pdf>

Características fundamentales del cinc es de color blanco azulado es muy resistente a la oxidación y corrosión en el aire y en el agua, pero poco resistente al ataque de ácidos y sales.

Tiene el mayor coeficiente de dilatación térmica de todos los metales. A temperatura ambiente es quebradizo, pero entre 100 y 150 °C es muy maleable.

## 2.2 Hornos de crisol para materiales no ferrosos. [3]

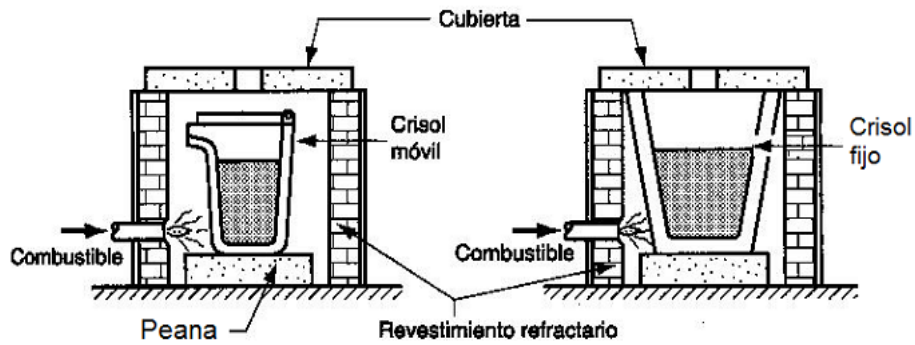
Los Hornos de crisol, cuenta con características térmicas, mecánicas entre otros que permiten fundir materiales no ferrosos y esto permiten que resiste temperaturas elevadas así como el Bronce, Aluminio, etc.

Hay tres tipos de hornos de crisol que se usan en los talleres de fundición.

- *Hornos de crisol móvil:* El crisol se coloca en el horno que usa aceite o gas o carbono pulverizado para fundirla cargas metálicas cuando el metal se funde el crisol se levanta del horno y se usa como cuchara de colada (Figura 4a).
- *Horno de crisol estacionario:* En este caso el crisol permanece fijo y el metal fundido se saca del recipiente mediante una cuchara para posteriormente llevarlo a los moldes (Figura 4b).
- *Hornos de crisol basculante:* El dispositivo entero se puede inclinar para vaciar la carga, se usan para metales no ferrosos como el bronce, el latón y las aleaciones de zinc y de aluminio.

Figura 5. Horno de crisol Móvil y Estacionario (fijo).





Fuente: <http://www.slideshare.net/AndresPazos/universidad-tecnica-de-ambato-f>

**2.2.1 Principio de funcionamiento del horno crisol basculante.** El horno de crisol (figura 6). Es un equipo utilizado principalmente para la fusión de metales no ferrosos. En este equipo el metal a ser fundido se encuentra en el interior de un crisol fabricado de grafito o carburo de silicio.

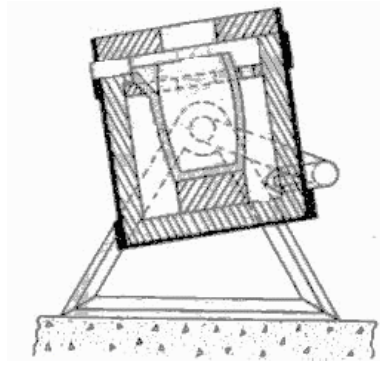
El calentamiento se efectúa con gas o con petróleo (combustible) y la llama del mechero ataca tangencialmente a la base del crisol, a fin de que los gases de la combustión giren alrededor de él, según un movimiento ascensional helicoidal, esta disposición favorece intercambios térmicos.

El crisol se posiciona en el interior de la cámara de combustión cilíndrica, que a su vez está formada internamente por un revestimiento refractario y externamente por una carcasa de chapa de acero, como lo esquematiza la (figura 7).

El revestimiento refractario normalmente se confecciona a partir de ladrillos especiales y posee la finalidad de resistir el elevado calor existente en el interior de la cámara de combustión, mientras que la carcasa tiene la finalidad de sustentar todo el conjunto.

El interior de la cámara de combustión debe ser perfectamente cilíndrico para permitir la distribución uniforme del calor.

Figura 6. Horno de crisol basculante.

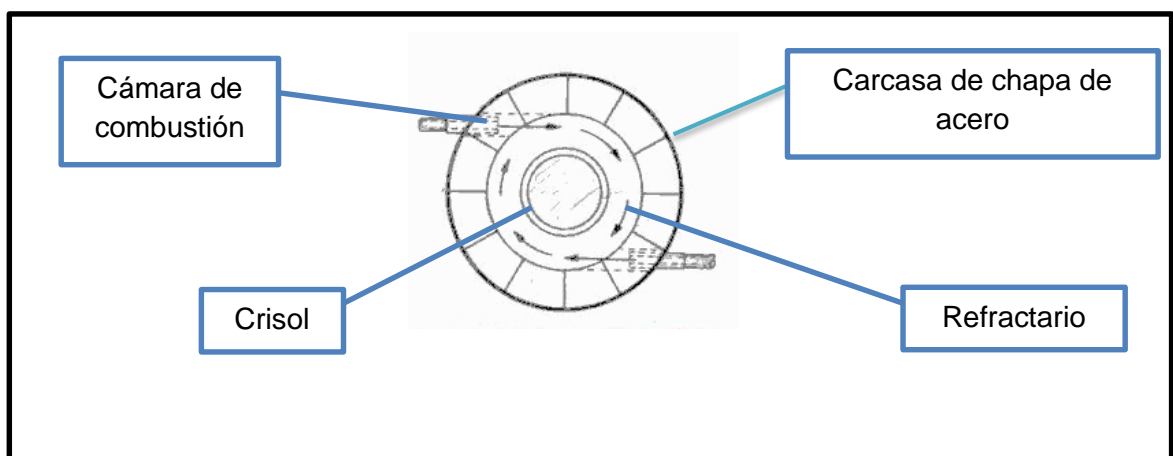


Fuente: <http://www.slideshare.net/AndresPazos/universidad-técnica-de-ambato-f>

El crisol se posiciona en el centro de la cámara de combustión y se apoya sobre un pedestal, también confeccionado a partir de material refractario. Sobre el horno existe una tapa para evitar las pérdidas de calor e impedir la salida libre de la llama. Otra característica importante es que el metal prácticamente no entra en contacto con la fuente de calentamiento (hecho por vía indirecta), y por esto, está sujeto a poca contaminación.

El sistema de báscula consta de una volante acoplada a un sistema de volteo mecánico conformada por dos ejes helicoidales y un engranaje sujeto a un extremo del eje central del horno este eje es apoyado en unos soportes tipo cojinetes y el otro extremo del eje es fijado en la carcasa del horno. [4]

Figura 7. Vista superior del Horno de crisol basculante.



Fuente: <http://www.inci-horbas.blogspot.com/>



**2.2.2 Formas de calentamiento de hornos de crisol.** En relación a la forma de energía utilizada, los hornos de crisol pueden ser operados básicamente a través de energía eléctrica o de combustibles.

En relación a la energía eléctrica, los hornos más comunes son de resistencia y de inducción. En cuanto a los combustibles, se puede utilizar una serie de formas diferentes (ver tabla 3). Cada forma de energía, sea eléctrica o en forma de combustible, posee sus ventajas y desventajas que deben ser aprovechadas o evitadas de acuerdo con las condiciones de producción exigidas, o en función de la política de abastecimiento adoptada por la empresa.

Tabla 3. Principales tipos de combustible usados en la operación de los hornos de crisol.

| Combustible    | Tipo               | Poder Calorífico. |
|----------------|--------------------|-------------------|
| <b>Solido</b>  | Leña               | 3800              |
|                | Carbón mineral.    | 4000 a 6000       |
|                | Coque de fundición | 6200 a 7500       |
|                | Coque de petróleo  | 8000              |
|                | Carbón vegetal.    | 6500 a 7000       |
| <b>Liquido</b> | Gasolina           | 10200             |
|                | Petróleo diesel    | 11000 Kcal/litro  |

|                |                   |       |
|----------------|-------------------|-------|
|                | Alcohol etílico   | 7300  |
|                | Querosene         | 11600 |
|                | Petróleo-fuel-oíl | 9820  |
|                | OC4               | 10000 |
| <b>Gaseoso</b> | Gas liquido       | 10900 |
|                | Gas de coque      | 4500  |
|                | Gas natural       | 10000 |
|                | Metano            | 8500  |

Fuente: <http://www.inci-horbas.blogspot.com/>.

En la práctica, los combustibles más utilizados son petróleo y gas. El petróleo no combustiona en su estado líquido original; la manera de alcanzar una gasificación rápida consiste en proyectarlo finamente subdividido hacia el interior de la cámara de combustión. El elemento mecánico que realiza tal operación es el quemador. Los quemadores de petróleo deben cumplir los siguientes objetivos:

- Pulverizar el petróleo en gotitas cuyos diámetros varían desde unos 30 a 150 micrones (1 micrón = 0,001 mm).
- Mezclar el petróleo, ya en estado nebuloso o de vapor, con el aire.
- Mantener la proporción entre el aire y el petróleo.

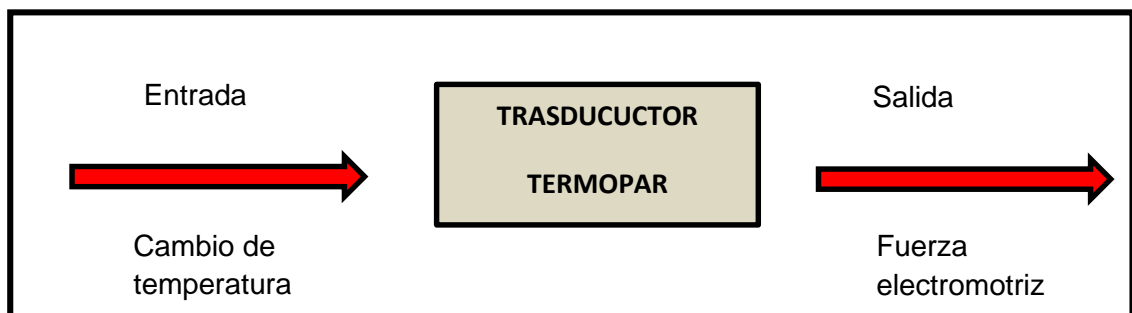
- El gas combustible propicia las mejores condiciones de servicio, después de la energía eléctrica, en lo que toca a la limpieza de las instalaciones; entre tanto, tiene como desventaja el peligro de explosión y el costo relativamente alto.[4]

### 2.3 Elementos para la construcción del pirómetro de inmersión.

Se denomina instrumento al dispositivo, aparato o medio físico capaz de generar una señal de medición, atendiendo a características metrológicas normalizadas, de modo que esta señal pueda ser utilizada para reproducir el valor de la variable medida de forma directa.

**2.3.1 Sensores de Temperatura.** [5] Cuando nos referimos a los sensores de temperatura debemos de considerar que es el elemento sensible es la parte del instrumento que se encuentra en contacto directo con la variable de proceso, su función es generar una señal física, relacionada con la magnitud que ha de ser medida. Generalmente el elemento sensible produce una señal diferente a la magnitud medida.(figura 8)

Figura 8. Transductor.



Fuente: <http://www.unet.edu.ve/~ielectro/sensores.pdf>

Entre los sensores más comunes empleados para medir temperatura con instrumentación eléctrica, electrónica se tienen: RTDs, termistores, sensores de circuito integrado (IC) y termocuplas.

**2.3.1.1 Detector de resistencia metálica (RTD).** El detector de resistencia metálica RTD, es uno de los sensores más precisos de temperatura. Se caracteriza por su excelente estabilidad, usualmente es utilizado para medir temperaturas de 0 °C a 450 °C.

La resistencia metálica es de alambres finos o de películas de metales. Su resistencia varía en forma directamente proporcional con la temperatura. Ellas son fabricadas de metales como cobre, plata, oro, tungsteno y níquel, no obstante el platino es el material más comúnmente usado. El platino presenta una excelente estabilidad y la más alta resistividad con respecto a los otros metales.

Entre las desventajas de las RTDs de platino (Pt100) se pueden mencionar:

- 1- Su alto costo, por lo que hacer instrumentación con ellas es caro.
- 2- Debido a su baja resistencia ( $100\ \Omega$  a  $0\ ^\circ\text{C}$ ) y sensibilidad ( $0.4\ \Omega/^\circ\text{C}$ ), los alambres de conexión es uno de los principales problemas, la vía para minimizarlo es usar el esquema de medición con 4 alambres.
- 3- en el sistema de medición con 4 alambres, dos alambres llevan y traen la corriente proveniente de una fuente de corriente constante y otros dos alambres se emplean para la conexión del instrumento de medición de voltaje, convertidor A/D en un sistema de adquisición de datos por computadora.
- 4- la corriente de excitación constante produce una disipación de potencia en la RTD, lo cual le genera calentamiento que incrementa adicionalmente su temperatura que no es posible de detectar cuando se hace la medición de temperatura, una forma de reducir este error usar una corriente de excitación lo más pequeña posible.

**2.3.1.2 Termistor.** Un termistor es un semiconductor hecho de dos óxidos metálicos unidos dentro de una pequeña bola, disco u otra forma y recubierto con epóxido o vidrio. Hay dos clases de termistores los que presentan un coeficiente negativo de temperatura (CNT), cuya resistencia disminuye con la temperatura y coeficiente positivo con la temperatura (CPT) cuya resistencia aumenta con la temperatura.

Los termistores CNT son los más usados para medición de temperatura. Valores comunes de termistores son  $2252\ \Omega$ ,  $5000\ \Omega$  y  $10000\ \Omega$ . Un termistor de  $5000\ \Omega$  tiene

aproximadamente una sensibilidad de  $200 \Omega/^{\circ}\text{C}$  a la temperatura ambiente, comparada con  $0.4 \Omega/^{\circ}\text{C}$  de la Pt100, la sensibilidad del termistor es bastante más alta. Los termistores se pueden emplear para medir temperaturas hasta de  $300^{\circ}\text{C}$ .

Debido a que los termistores tienen una resistencia alta, la resistencia de los conductores que llevan la corriente no afecta la exactitud de las mediciones. Mediciones con dos alambres es adecuado en circuitos con termistores.

Ya que la resistencia es bastante alta, la corriente de excitación debe ser pequeña para evitar el auto calentamiento que afecte la exactitud de la medición.

**2.3.1.3 Sensor de circuito integrado IC.** Los sensores de circuito integrado se fundamentan en la característica de la unión p-n de los semiconductores. Están formados por circuitos integrados sobre un chip, el cual presenta una salida lineal y proporcional a la temperatura. Se consiguen sensores IC que presentan salidas en voltaje analógico y en forma digital. Por estar hechos a base de silicio, su rango de temperatura está limitado aproximadamente a los  $150^{\circ}\text{C}$ .

Una de las principales ventajas de los sensores IC es su fácil interface. Entre las desventajas se tienen: el limitado rango de temperatura, la necesidad de alimentación y el auto calentamiento.

**2.3.1.4 Termocuplas o termopares (Termopares).** Termopar se denomina a la unión de dos alambres conductores con diferente composición metalúrgica. El termopar genera una fuerza electromotriz (fem) que depende de la diferencia de temperatura de la junta caliente o de medida y la unión fría o de referencia, así como de la composición del termopar.

*Funcionamiento del Termopar.* [6] Se basa en el principio físico de la unión de dos alambres de metales diferentes que produce una diferencia de potencial en los dos extremos que no se encuentran en contacto que es función de la temperatura a la cual se encuentra la unión. Este principio se llama efecto Seebeck, en memoria a Thomas Seebeck quien lo descubrió en 1821. El voltaje producido en la unión es no lineal con respecto a la temperatura, bastante pequeño (del orden de los milivoltios).El

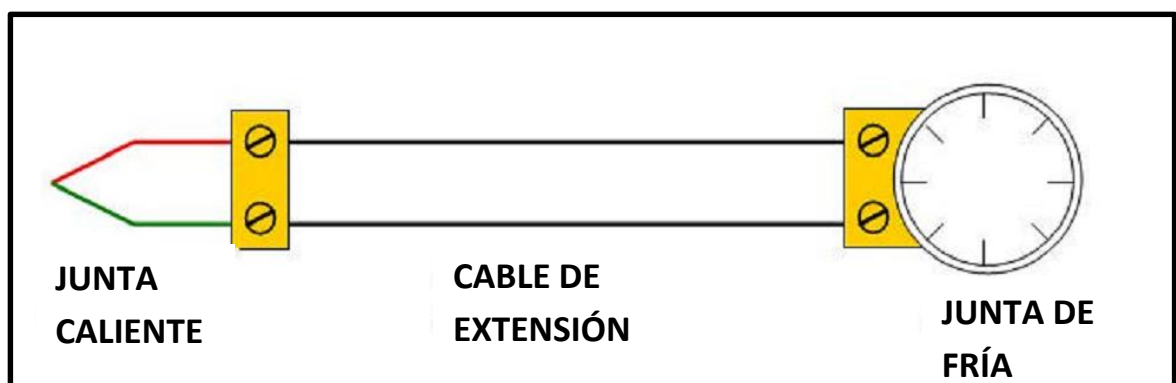
funcionamiento del termopar está directamente relacionado con algunas leyes termoeléctricas que analizamos a continuación.

*Efecto de volta.*- Si se unen dos metales heterogéneos que tienen igual temperatura, se creará una diferencia de potencial en sus extremos libres cuyo valor es constante si se trata de la misma junta y tienen las mismas condiciones de temperatura en el momento de la medición.

*Efecto de Peltier.*- Siempre que se someta a temperaturas fluctuantes a la unión de un termopar se producirá cambios en el valor del mili voltaje generado que es dependiente únicamente, de la temperatura en la junta caliente o de medición.

*Efecto de Thomson.*- Cuando los extremos de un mismo conductor están sujetos a una gradiente de temperatura se producirá una diferencia de potencial que depende de la diferencia de temperatura. Para elegir los materiales que formen el termopar es conveniente que la fuerza electromotriz relacionada con el efecto Peltier sea la mayor posible y la provocada por el efecto Thomson sea mínima o nula.

Figura 9. Esquema de un termopar.



Fuente: HARO, Marco A. Medina. Instrumentación Industrial - Ingeniería de Mantenimiento-Facultad de Mecánica- ESPOCH. Año 2005

*Junta caliente o junta de medición.*- Es el termopar propiamente dicho, se denomina caliente porque es la parte del instrumento que está en contacto con el medio del cual se quiere obtener la temperatura. (Figura 9).

*Junta fría o de referencia.*- Es la parte del instrumento donde se realiza la medida y que generalmente se mantiene a una temperatura relativamente constante, en la mayoría de casos a la temperatura ambiente. (Figura 9).

*Cables de extensión.*- Son los conductores que unen la junta caliente con la junta fría. A cada tipo de termopar le corresponde cables de extensión específicos, de lo contrario se alteraría el valor de la medida por la presencia de un tercer termopar según lo analizamos más adelante en la ley de los metales intermedios. (Figura 9).

*Ley de las temperaturas intermedias.*- La suma de la fem de un termopar con su junta fría a 0 °C. Y su junta caliente a una temperatura T, más la fem de un termopar con su junta fría a la temperatura T y su junta caliente a la temperatura de medición, es igual a la fem de un termopar con su junta fría a 0 °C. Y su junta caliente a la temperatura de medición.

*Ley de los metales intermedios.*- Cuando la junta caliente y el instrumento están distantes es necesario introducir cables de extensión de otra naturaleza que el termopar. Esto aparentemente provocaría alteraciones en la respuesta del termopar. La ley de los metales intermedios dice que el valor de la fem se mantendrá constante, siempre que el tercer metal no esté sujeto al efecto Thomson, es decir que la temperatura a lo largo de él se mantenga constante.

*Tipos de termopares.*- Para escoger los materiales que forman el termopar se tomó en cuenta algunos factores que garanticen su mantenimiento y comercialización y hasta el momento se han desarrollado los siguientes tipos.

a. Tipo T

La nomenclatura T está adoptada por la norma ANSI. Los conductores son de cobre y constantan. El cobre tiene una pureza del 99,9% y el constantan es una aleación de cobre en un 58% y níquel en un 42% aproximadamente.

El rango de utilización va desde -200 °C hasta 370 °C, produciendo una f.e.m. de -5,603 hasta +19,027 mV. Las aplicaciones más comunes son en criometría, industrias de refrigeración, investigaciones agronómicas y ambientales, químicas y petroquímicas.

b. Tipo J

Nomenclatura adoptada por la norma ANSI. La combinación utilizada es hierro al 99,5 % y constantan. La proporción es 58% de Fe y 42 de constantan. El rango de utilización va desde los  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  a los  $760\text{ }^{\circ}\text{C}$ . La f.e.m. va desde  $-1,960$  hasta  $+42,922\text{ mV}$ . Se utiliza en centrales de energía, metalúrgica, química, petroquímica etc.

c. Tipo E

Nomenclatura adoptada por la norma ANSI. Es una combinación de chromel y constantan. Chromel = Níquel (90%) y Cromo (10%) Constantan = Cobre (58%) y Níquel (42%) El rango de utilización va desde los  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$  a los  $+870\text{ }^{\circ}\text{C}$ , La f.e.m. producida es de  $-8,824$  a  $+66,473\text{ mV}$ . Las aplicaciones más comunes son químicas y petroquímicas.

d. Tipo K

Nomenclatura adoptada por la norma ANSI. Es una combinación de chromel y alumel. Chromel = Níquel (90%) y Cromo (10%). Alumel = Níquel (95,4%), Manganeso (1,8%), Silicio (1,6%) y Aluminio (1,2%). El rango de utilización va desde los  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$  a los  $+1260\text{ }^{\circ}\text{C}$ , La f.e.m. producida es de  $-5,891$  a  $+50,99\text{ mV}$ . Aplicaciones: metalúrgicas, fundición, cemento y cal, vidrios, cerámicas, etc.

e. Tipo S

Nomenclatura adoptada por la norma ANSI. Es una combinación de platino con rodio y platino. Platino (90%) y Rodio (10%), Platino (100%) El rango de utilización va desde los  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  a los  $+1600\text{ }^{\circ}\text{C}$ , La f.e.m. producida es de  $0$  a  $16,771\text{ mV}$ . Aplicaciones: metalúrgicas, fundición, cemento y cal, vidrios, cerámicas, etc. Entre  $1200$  y  $1600\text{ }^{\circ}\text{C}$ , en algunos casos se utilizan sensores descartables.

f. Tipo R



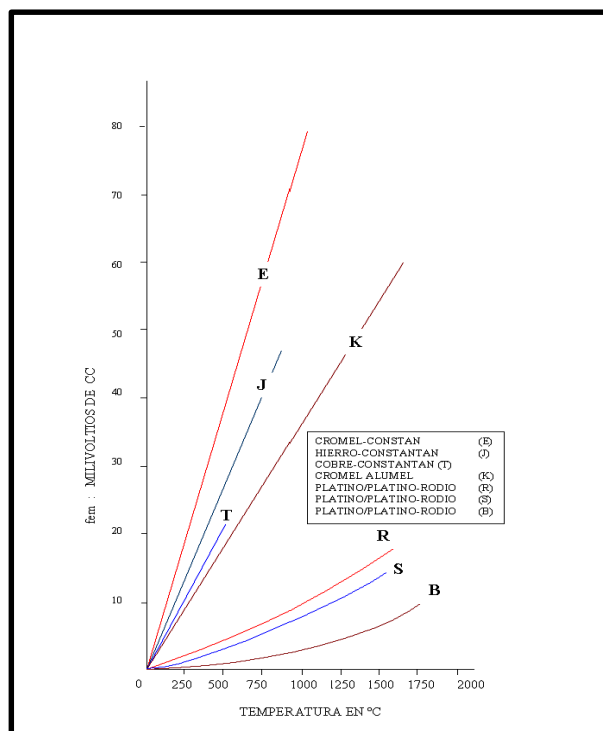
Nomenclatura adoptada por la norma ANSI. Es una combinación de platino con rhodio y platino. Platino (87%) y Rhodio (13%), Platino (100%). El rango de utilización va desde los 0 °C a los +1600 °C, La f.e.m. producida es de 0 a 18,842 mV. Aplicaciones: metalúrgicas, fundición, cemento y cal, vidrios, cerámicas, etc.

g. Tipo B

Nomenclatura adoptada por la norma ANSI. Es una combinación de platino con rhodio y platino con rhodio. Platino (70%) y Rhodio (30%), Platino (94%) y Rhodio (6%), El rango de utilización va desde los 600 °C a los +1700 °C. La f.e.m. producida es de 1,791 a 12,426 mV. Aplicaciones: Altas temperaturas en general.

Se muestra en la (figura 10) el mili voltaje generado por los termopares a diversas temperaturas de su junta caliente y con su junta fría a una temperatura de referencia de 32° F o 0° C.

Figura 10. Diagrama de la curva fem para termopares.

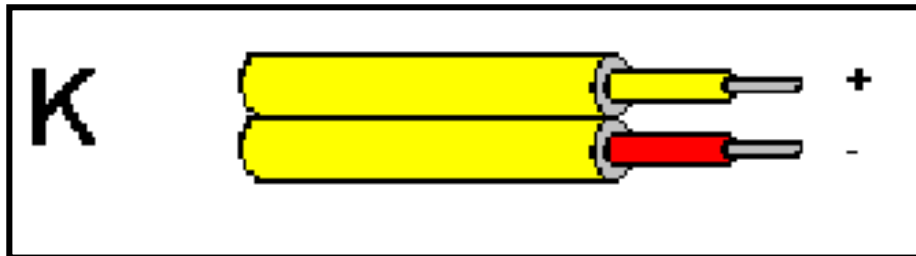


Fuente: HARO, Marco A. Medina. Instrumentación Industrial - Ingeniería de Mantenimiento-Facultad de Mecánica- ESPOCH. Año 2005

*Código de colores para cables de extensión.*- A continuación se muestra los colores para cables de extensión de acuerdo a las diferentes normas estandarizados a nivel

internacional. Esto es basado en tablas que especifican de acuerdo a las normas los tipos, denominación tipo de color que posee el positivo y negativo y su envoltura en la termocuplas.

Figura 11. Código de color en cable de extensión tipo K.



Fuente: HARO, Marco A. Medina. Instrumentación Industrial - Ingeniería de Mantenimiento-Facultad de Mecánica- ESPOCH. Año 2005

- La norma americana ASTM define el siguiente código de colores para cables de extensión (Figura 11).

| TIPO | DENOMINACIÓN | POSITIVO | NEGATIVO | ENVOLTURA |
|------|--------------|----------|----------|-----------|
| B    | Bx           | Rojo     | Plomo    | Plomo     |
| J    | Jx           | Blanco   | Rojo     | Negro     |
| K    | Kx           | Amarillo | Rojo     | Amarillo  |
| R/S  | Rx           | Negro    | Rojo     | Verde     |
| T    | Tx           | Azul     | Rojo     | Azul      |

- La Norma Británica BS4937 de 1993, dispone el uso del siguiente código de Colores.

| TIPO | DENOMINACIÓN | POSITIVO | NEGATIVO | ENVOLTURA |
|------|--------------|----------|----------|-----------|
| B    | Bx           | Plomo    | Blanco   | Plomo     |
| J    | Jx           | Negro    | Blanco   | Negro     |
| K    | Kx           | Verde    | Blanco   | Verde     |
| R/S  | Rx           | Tomate   | Blanco   | Tomate    |
| T    | Tx           | Café     | Blanco   | Café      |

- La norma Francesa de la NFE dispone el uso del siguiente código de colores.

| TIPO | DENOMINACIÓN | POSITIVO | NEGATIVO | ENVOLTURA |
|------|--------------|----------|----------|-----------|
| J    | Jx           | Amarillo | Negro    | Negro     |
| K    | Kx           | Amarillo | Café     | Amarillo  |
| R/S  | Rx           | Amarillo | Verde    | Verde     |
| T    | Tx           | Amarillo | Azul     | Azul      |

- La Norma Alemana DIN tiene la siguiente codificación:

| TIPO | DENOMINACIÓN | POSITIVO | NEGATIVO | ENVOLTURA |
|------|--------------|----------|----------|-----------|
| J    | Jx           | Rojo     | Azul     | Azul      |
| K    | Kx           | Rojo     | Verde    | Verde     |
| R/S  | Rx           | Rojo     | Blanco   | Blanco    |
| T    | Tx           | Rojo     | Café     | Café      |

*Criterios de selección.*- Debemos tener en cuenta cada uno de las ventajas y desventajas para una buena selección dentro de los parámetros establecidos.

Ventajas:

- Diseño y operación simple.
- Son pequeños, flexibles y de fácil instalación en ubicaciones remotas.
- Bajo costo.
- Los componentes del sistema de medición se pueden reemplazar individualmente. Amplio rango de medición.
- Buena exactitud.















































Desventajas:

- Baja potencia de la señal de salida.
- Se deben conocer las técnicas de compensación de la junta fría.

- Requiere de calibración periódica.

Como se puede ver los estándares para este fin aún no han sido unificados, por lo que se debe guardar cuidado en la verificación del tipo de termopar que se está utilizando y dependiendo del origen de la termocupla deberá observarse el código de colores (figura 11). Debe indicarse también que existen en el mercado termocuplas que no cumplen con ninguna de las normas que se ha analizado.

Figura 12. Código de colores internacional para cables e hilos de compensación y extensión.

| <div>  </div>  |                                   |                                     |   |   |   |   |  |                      |                     |
|---|-----------------------------------|-------------------------------------|---|---|---|---|--|----------------------|---------------------|
| <div> <div>Combinación metálica</div> <div>      </div> <div>Limite de error</div> </div> |                                   |                                     |   |   |   |   |  |                      |                     |
| LIGAS   | + FIO                             | - FIO                               | Código de<br>Cores ANSI<br>MC-98.1  | Internacional<br>IEC 584-3  | BS<br>1843  | DIN<br>43710  | JIS<br>C1610-1981  |                      |                     |
| <b>J</b>  | Fe<br>(magnético)                 | Constantan<br>Cu-Ni                 |  |  |  |  |  | 2.2°C<br>ou<br>0.75% | 1.1°C<br>ou<br>0.4% |
| <b>K</b>  | Níquel-Cromo<br>Ni-Cr             | Níquel-Alum<br>Ni-Al<br>(magnético) |  |  |  |  |  | 2.2°C<br>ou<br>0.75% | 1.1°C<br>ou<br>0.4% |
| <b>W*X</b>  | Cobre<br>Cu                       | Cu-Ni                               |   |  |  |  |  |                      |                     |
| <b>T</b>  | Cobre<br>Cu                       | constantan<br>Cobre-Níquel<br>Cu-Ni |  |  |  |  |  | 1.0°C<br>ou<br>0.75% | 0.5°C<br>ou<br>0.4% |
| <b>E</b>  | Níquel-Cromo<br>Ni-Cr             | constantan<br>Cobre-Níquel<br>Cu-Ni |  |  |  |  |  | 1.7°C<br>ou<br>0.5%  | 1.0°C<br>ou<br>0.4% |
| <b>N</b>  | Nicrosil<br>Ni-Cr-Si              | Nisil<br>Ni-Si-Mg                   |  |  |  |   | não é padrão<br>define cores<br>norma NPD1   | 2.2°C<br>ou<br>0.75% | 1.1°C<br>ou<br>0.4% |
| <b>R</b>  | Platina<br>13% rodio<br>Pt-10% Rh | Platina<br>Pt                       |  |  |  |  |  | 1.5°C<br>ou<br>0.25% | 0.6°C<br>ou<br>0.1% |
| <b>S</b>  | Platina<br>10% rodio<br>Pt-10% Rh | Platina<br>Pt                       |  |  |  |  |  | 1.5°C<br>ou<br>0.25% | 0.6°C<br>ou<br>0.1% |
| <b>B</b>  | Platina<br>30% rodio<br>Pt-30% Rh | Platina<br>6% rodio<br>Pt-6% Rh     |  |   | use fio<br>de<br>cobre  |  |  | 0.5%<br>600°C        | não<br>estabilizado |

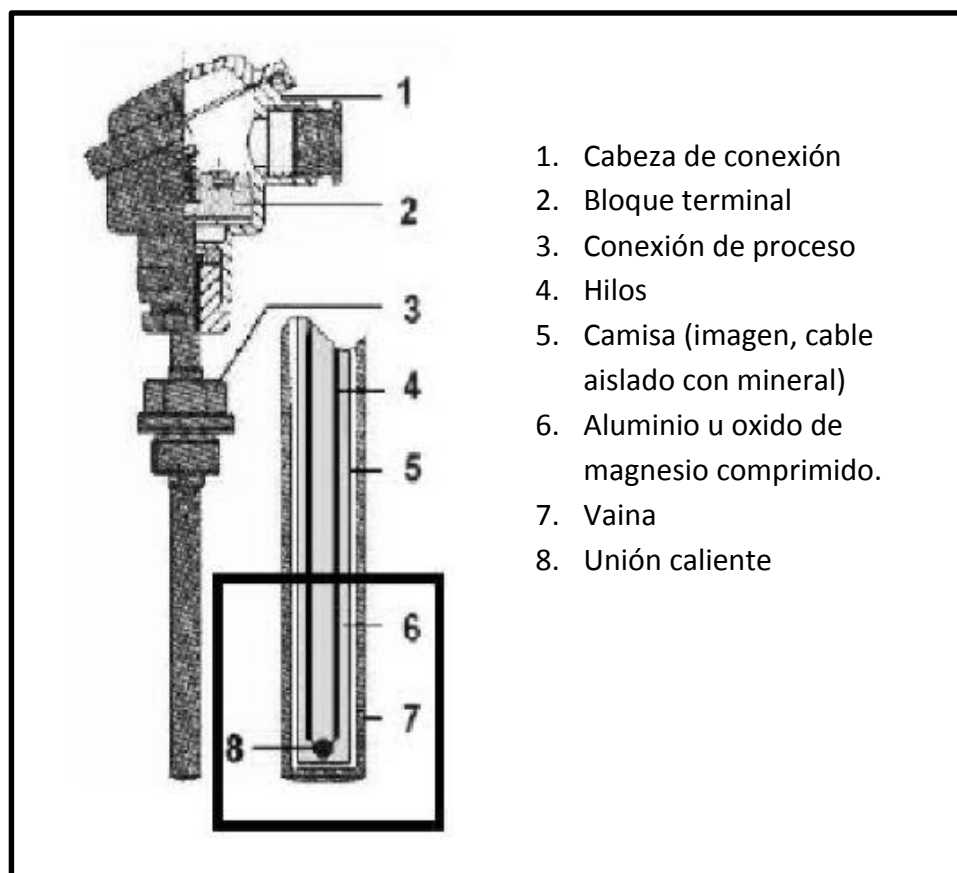
Fuente: <http://www.metas.com.mx/guiametas/La-Guia-MetAs-02-07-TC.pdf>

### 2.3.2 Protector metálico. [7]

Puesto que son muchas las aplicaciones que hacen exponer el alambre de termocupla a condiciones ambientales adversas por lo general las termocuplas han de contar con protección. (Figura 13).

Los tubos de protección se eligen generalmente en base a las condiciones corrosivas que es dable esperar más consideraciones de abrasión, vibración, porosidad, velocidad de fluido, presión, costo y requerimientos de remplazo y montaje.

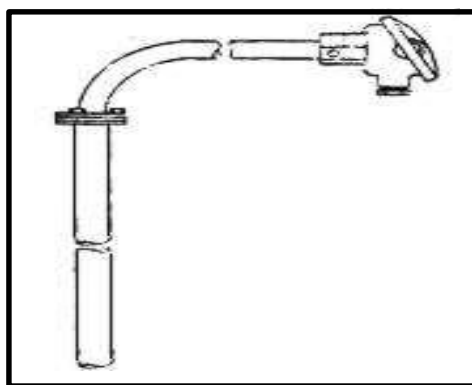
Figura 13. Protector metálico.



Fuente: [http://www.sapiensman.com/medicion\\_de\\_temperatura/termocuplas2.htm](http://www.sapiensman.com/medicion_de_temperatura/termocuplas2.htm)

Por lo común se dispone de vainas con diámetros externos para sensores desde 3 hasta 22 mm de diámetro. Los tubos de protección son similares a las vainas, salvo el hecho de que no permiten un montaje hermético a la presión en el recipiente de proceso.

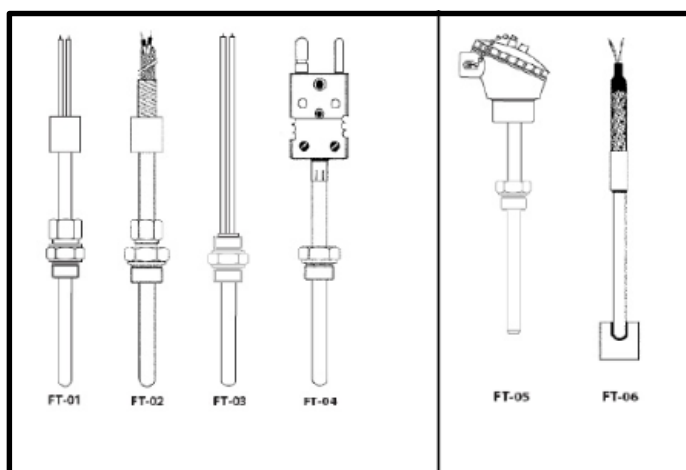
Figura 14. Construcción tipo acodada.



Fuente: [http://www.sapiensman.com/medicion\\_de\\_temperatura/termocuplas2.htm](http://www.sapiensman.com/medicion_de_temperatura/termocuplas2.htm)

En la (figura 14) Puede verse una construcción típica tipo acodada, para lograr la protección del cabezal de conexiones en el caso de inmersión de la vaina en procesos de fusión de metales no ferrosos o tratamientos térmicos por baños de sales con desprendimientos corrosivos o radiación térmica intensa que afectarían el cabezal directamente si la construcción fuese recta (Figura 15).

Figura 15. Construcción tipo recta



Fuente: [http://www.sapiensman.com/medicion\\_de\\_temperatura/termocuplas2.htm](http://www.sapiensman.com/medicion_de_temperatura/termocuplas2.htm)

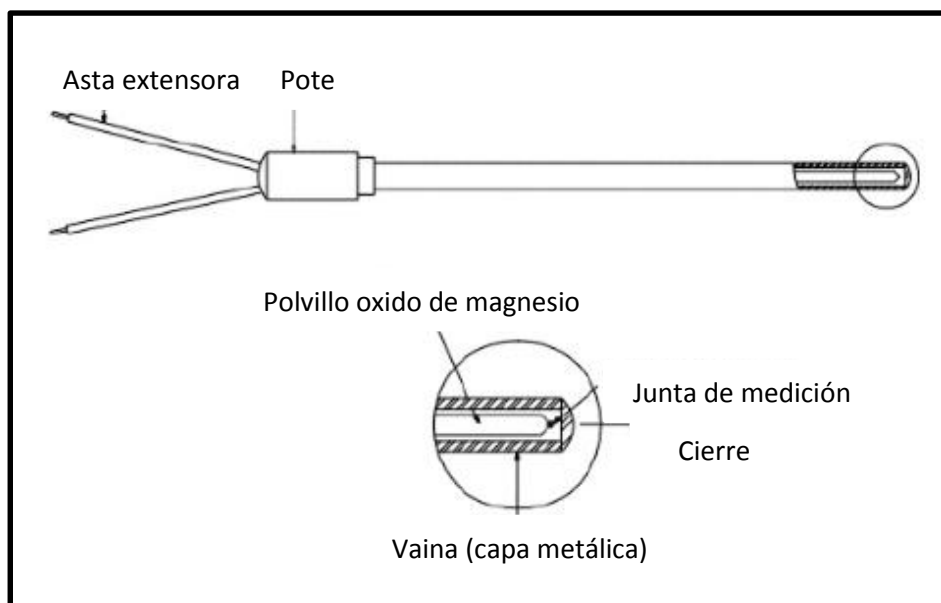
*Características de termopares de aislamiento mineral.-* El termopar de aislamiento mineral es constituido de uno o dos pares termoeléctricos, que son aislado entre si y de la vaina metálica, por el polvo de óxido de magnesio, que posee excelente conductibilidad térmica y alta compactación. (Figura 16). Esta segunda característica torna el termopar mineral muy resistente con respecto a la contaminación de los conductores. La

durabilidad del sensor está relacionada directamente a la elección correcta del tipo de protección metálica de la vaina.

Propiedades físicas y químicas:

- Aspecto: Polvo beige claro.
- Olor: Inoloro.
- Solubilidad: Insoluble en agua.
- Peso específico: 3,58 a 25 °C (77 °F).
- pH: 10,3 solución saturada.
- % De Volátiles por Volumen @ 21 °C (70 °F): 0
- Punto de ebullición: 3600 °C (6512 °F).
- Punto de fusión: 2800 °C (5072 °F).
- Densidad de vapor (Aire = 1): No se encontró información.
- Presión de Vapor (mm Hg): No se encontró información.
- Tasa de evaporación (BuAc = 1): No se encontró información

Figura 16. Termopar de aislamiento mineral.



Fuente: [http://www.sapiensman.com/medicion\\_de\\_temperatura/termocuplas2.htm](http://www.sapiensman.com/medicion_de_temperatura/termocuplas2.htm)

*Ventajas de los termopares de aislamiento mineral estabilidad en la fuerza electromotriz.*- La estabilidad de la F.E.M. del termopar es caracterizada en función de



los conductores, están completamente protegidos contra la acción de gases y otras condiciones ambientales, que normalmente causan oxidación y consecuentemente disminuya la fuerza electromotriz generada.

*Características técnicas de los termopares de aislamiento mineral.*- Para una perfecta elección de un termopar de aislamiento mineral, en un determinado proceso, debe ser tomado en consideración todas sus posibles características y sus normas exigidas. Se dan algunos datos para la orientación en la elección correcta de los termopares de aislamiento mineral, según la norma ASTM-E230 - ITS 90.

- *Resistencia mecánica y flexibilidad.*\_ El polvillo compactado, dentro de la vaina metálica y los conductores uniformemente posicionados, permiten que el cable sea doblado, allanado, torcido o estirado, soporte presiones externas y choque térmico, sin cualquier pérdida de las propiedades termoeléctricas.
- *Facilidad y utilización.*- La construcción de termopar de aislamiento mineral permite que el mismo sea tratado como si fuera un conductor sólido en su capa metálica, puede ser montado accesorios, por soldadura o brazaje. Y cuando necesita, su sección puede ser reducida o alterada en su configuración.
- *Respuesta más rápida.*- El pequeño volumen y la alta conductividad del óxido de magnesio promueven una excelente transferencia de calor, superior a los termopares con montaje convencional.
- *Resistencia a la corrosión.*- Las metálicas, con diversos tipos, pueden ser seleccionadas para resistir al ambiente corrosivo.
- *Resistencia de aislamiento elevado.*- La resistencia de aislamiento entre conductores la vaina es siempre superior a 100 M Ohm (a 20°C). Independiente de su diámetro, y bajo las condiciones más húmeda.
- *Blindaje electrostático.*- el vaina termopar de aislamiento mineral, debidamente aterrizada, ofrece un excelente blindaje electrostático al par termoeléctrico.

### 2.3.2.1 Materiales para la protección metálica. [8]

Son utilizados para protección de los sensores de temperatura. Para correcta especificación de estos, es necesario llevar en consideración todas las condiciones de uso, tales como: temperatura, resistencia mecánica, corrosión (atmósfera oxidante o reductora), tipo de fluido, velocidad de respuesta, etc. Por tanto, para orientar en la elección, informamos en la (tabla 4). Subsecuentes las características y aplicaciones principales de los materiales de protección.

Tabla 4. Características de la vaina metálicas.

| METÁLICOS               |                             |                       |      |  |
|-------------------------|-----------------------------|-----------------------|------|--|
| Material                | Composición nominal         | TEMPERATURA<br>Max °C |      | Notas                                      |
| Acero de bajo<br>carbón | Acero de bajo<br><br>Carbón | 530°                  | 560° | Para líquidos y gases no corrosivos.       |
|                         |                             |                       |      |  |
| Acero inox.<br><br>304  | 18% Cr.<br><br>8% Ni        | 980°                  | 980° | Buena resistencia a oxidación y corrosión. |
|                         |                             |                       |      |  |

|                            |                                       |       |       |   |
|----------------------------|---------------------------------------|-------|-------|---|
| <b>Acero inox.<br/>316</b> | 12% Cr.<br><br>12% Ni.<br><br>2.5% Mo | 980°  | 980°  | Buena resistencia a oxidación y mejor a corrosión por el molibdeno.   |
|                            |                                       |       |       |   |
| <b>Calorstent</b>          | 25% Cr.<br><br>20% Ni                 | 1100° | 1100° | Excelente resistencia a oxidación y corrosión. No recomendable para atmósferas sulfurosas.                                      |
|                            |                                       |       |       |   |
| <b>Incoloy 800</b>         | 20% Cr.<br><br>32% Ni.                | 1150° | 1150° | Excelente resistencia a oxidación, carburación y corrosión a elevadas temperaturas. No recomendable para atmósferas sulfurosas. |
|                            |                                       |       |       |   |
| <b>Oxistent</b>            | 27% Cr.<br><br>Resto Fe               | 1150° | 1150° | Excelente resistencia a oxidación y corrosión. Se recomienda para atmósferas sulfurosas.  |
|                            |                                       |       |       |   |

|                           |                            |       |       |  |
|---------------------------|----------------------------|-------|-------|--|
| <b>Inconel 600</b>        | 20.5% Cr.<br><br>76.5 % Ni | 1180° | 1180° | Buena resistencia a corrosión, excelente a oxidación en altas temperaturas. No usarse en atmósferas sulfurosas arriba de 500°C |
|                           | <b>CERÁMICOS</b>           |       |       |  |
| <b>Silma</b>              | 60% al 203                 | 1600° | 1600° | Excelente resistencia a choque térmico y buena resistencia mecánica.   |
|                           |                            |       |       |  |
| <b>Alox</b>               | 99.7% al 203               | 1900° | 1900° | Buena resistencia a choque térmico y resistencia mecánica  |
|                           |                            |       |       |  |
| <b>Carburo de Silicio</b> | Carburo de Silicio         | 1650° | 1650° | Para uso continuo en aluminio fundido. Protección secundaria por su resistencia a choque térmico y mecánico.                   |

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/73227333/termopares>

*Respuesta térmica.*-El tiempo de respuesta con vainas y tubos será de tres a diez veces mayor que con las termocuplas sin protección.

Los métodos generalmente utilizados para minimizar el tiempo de respuesta consisten en proveer un contacto entre el sensor y el interior de la vaina por medio de una carga a resorte, o bien obtener una tolerancia estrecha entre el diámetro exterior del sensor y el diámetro interior de la vaina. Esto minimiza la separación de aire que hace más lenta la transferencia de calor desde la vaina al sensor.

Cada uno de los metales tiene una distinta conductividad térmica. Por ejemplo, el acero inoxidable posee una menor conductividad que el cobre. Sin embargo, los ensayos han demostrado que no hay una diferencia significativa en el tiempo de respuesta entre una vaina de acero inoxidable y una vaina de cobre, las diferencias entre las velocidades de transferencia de calor de las distintas vainas metálicas son insignificantes si se compara la velocidad de transferencia de calor desde el proceso a la vaina con la velocidad de transferencia de calor desde la vaina al sensor y con la respuesta del sensor.

Otro factor a tener en cuenta al emplear tubos y vainas es el efecto de conducción. Puesto que el tubo o la vaina salen fuera del proceso habrá una distribución de gradientes de temperatura a través de su longitud y si el tubo o la vaina no se encuentran insertados lo suficientemente profundo dentro del proceso esos gradientes provocarán inexactitudes en la medición. Para eliminar dicho efecto, la longitud de inserción dentro del proceso debe ser por lo menos diez veces el diámetro de la vaina exterior.

El tiempo de respuesta también depende del espesor de la pared del tubo o la vaina. Cuanto más delgada es la pared, más rápida es la respuesta. Puesto que una de las funciones importantes de los tubos y vainas es brindar resistencia mecánica, habrá un compromiso en el espesor de la pared entre su velocidad de respuesta y su vida útil.

*Efectos de la velocidad.*- Una vez traspuesta la vaina, el fluido que circula forma una estela turbulenta con una frecuencia que varía con la velocidad del fluido. La vaina debe ser lo suficientemente delgada para que la frecuencia de la estela no llegue a ser igual a la frecuencia natural de la vaina y provocar su resonancia y posterior fractura.

En la (Tabla 5). Se detallan los límites de velocidad para vapor y gas de distintos materiales utilizados en vainas cónicas y estándar con inserciones de 11,4 y 26,7 cm. Por

ejemplo, una vaina cónica de acero al carbono, insertada 11,4 cm dentro de un proceso, puede utilizarse para velocidades hasta 54 m/s. o sea 17 m/s más de lo que puede, tolerar en forma segura una vaina estándar .

Tabla 5. Límites de la velocidad cm/s con respecto al material

| Material   | Inserción, cm | Límites de Velocidad cm/s |              |
|--|---------------|---------------------------|--------------|
|  |               | Vaina estándar            | Vaina cónica |
| Monel a 480 <sup>0</sup> C                             | 11,4          | 33,6                      | 46,5         |
| Acero al carbono a 535 <sup>0</sup> C                  | 26,7          | 6,21                      | 8,52         |
|  | 11,4          | 36,9                      | 54,0         |
|  | 26,7          | 6,84                      | 9,9          |
|  | 11,4          | 38,4                      | 59,1         |
| Acero Inoxidable, TIPO 304 ó 316, a 535 <sup>0</sup> C | 26,7          | 7,08                      | 10,6         |

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/73227333/termopares>

*Relación temperatura por el diámetro de la vaina.-* Esta (tabla 6). Sugiere los límites superiores de temperatura para termopares simples de aislamiento mineral de acuerdo con los diámetros externos, conforme norma ASTM-E608/84. [8]

Tabla 6. Límites superiores de temperatura con respecto al diámetro de la vaina.

| TERMOPARES/ TEMPERATURA.   |     |     |     |     |
|----------------------------|-----|-----|-----|-----|
| Diametro de la vaina en mm | K   | E   | J   | T   |
| 0,50                       | 700 | 300 | 260 | 260 |
| 1,00                       | 700 | 300 | 260 | 260 |
| 1,50                       | 920 | 510 | 440 | 260 |

|             |      |     |     |     |
|-------------|------|-----|-----|-----|
| <b>3,00</b> | 1070 | 650 | 520 | 310 |
| <b>6,00</b> | 1150 | 820 | 720 | 370 |

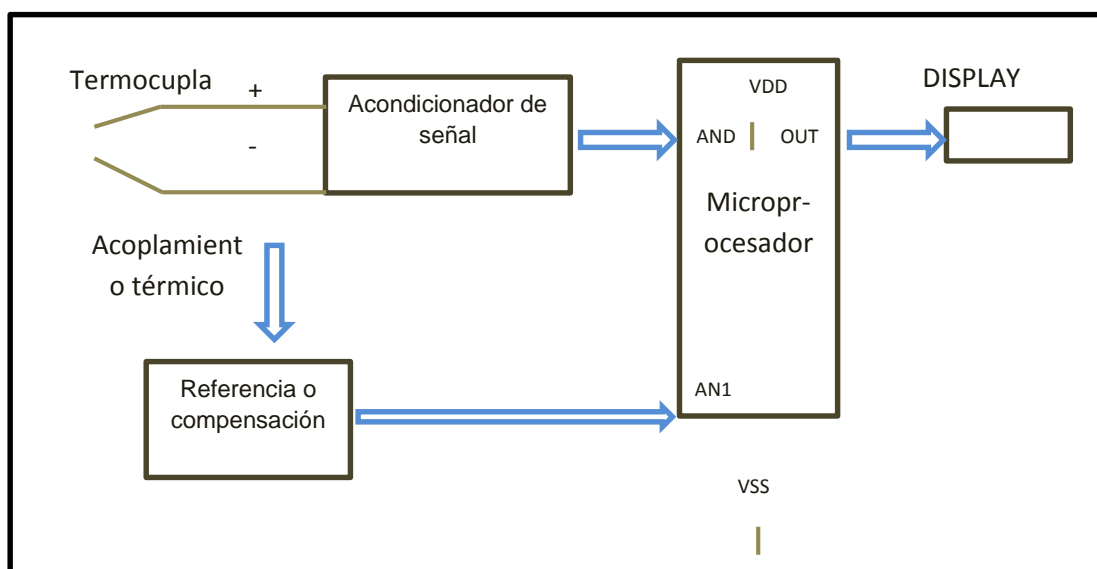
Fuente: <http://es.scribd.com/doc/73227333/termopares>

### 2.3.3 Control de temperatura digital. [9]

*Desarrollo de dispositivo para medición de temperatura.*-Se desarrolla un sistema de medición de temperatura basado en un sensor tipo termopar, el cual consta de las siguientes etapas:

- Acondicionador de la señal.
- Referencia o compensación (Cold Junction)
- Microprocesador.
- Etapa de visualización (Display).

Figura 17. Diagrama de bloques que representa todas las etapas del sistema desarrollado.



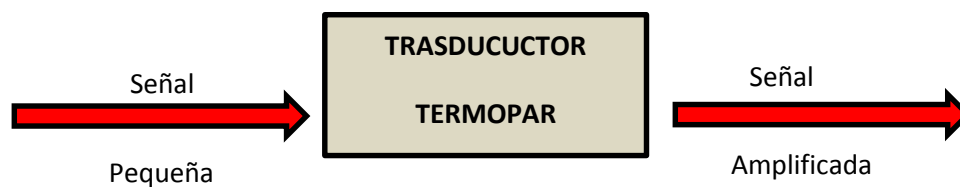
Fuente: <http://iindustrial.obolog.com/medidor-temperatura-termopar-86703>

### 2.3.3.1 Indicador de temperatura.

*Medios de Transmisión.*-Se encargan de tomar la señal del elemento sensible para amplificarla, convertirla y transmitirla hasta el elemento final.

Su función es acondicionar la señal generada por el sensor, de manera que pueda ser comparada con la escala del indicador o contrastada con la señal de referencia de un controlador. Los medios de transmisión pueden ser mecánicos, eléctricos, electrónicos.

A los medios de transmisión que convierten la señal, se los conoce como convertidores.



*Elemento Final.*- El elemento final varía de acuerdo a la clase de instrumento o sistema de medición, pudiendo ser: Constituido por una escala graduada lineal o angular donde se muestra el valor de la magnitud medida por analogía entre el puntero y el valor del limbo o escala.

La visualización también puede hacerse en forma directa en unidades de la magnitud medida utilizando un sistema digital.

Figura 18. Indicador de temperatura.



Fuente: HARO, Marco A. Medina. Instrumentación Industrial - Ingeniería de Mantenimiento-Facultad de Mecánica- ESPOCH. Año 2005

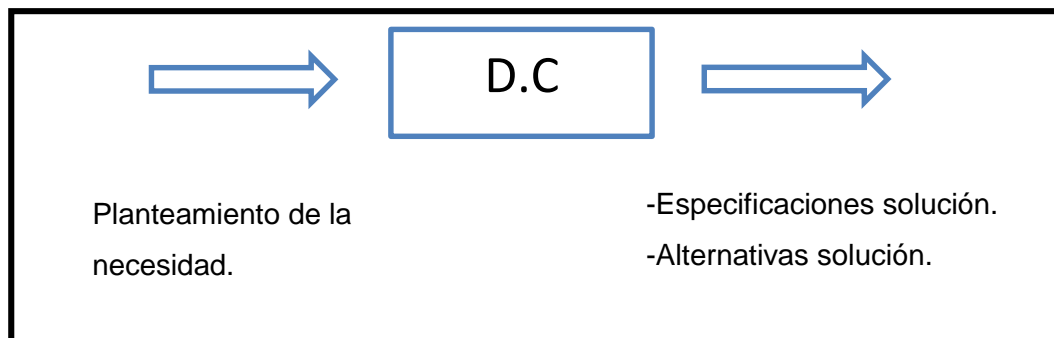


## 2.4 Diseño Conceptual.

En la etapa del diseño del proceso consiste en determinar:

- a) Las especificaciones de diseño.
- b) Las alternativas de diseño.

Figura 19. Etapas de diseño de proceso.



Fuente: Autor.

- Las especificaciones de diseño (parámetros de diseño) son valores que se dan a los atributos del producto y que permiten su evaluación.
- Las alternativas de diseño son las posibles soluciones que pueden tener el problema planteado.

Figura 20. Especificaciones de diseño.



Fuente: Autor.

*Especificaciones prescriptivas.*- Se utiliza para especificar valores de los atributos (propiedades, características). Ejemplo: El escalón de la escalera es seguro si es de material pino grado A, con una longitud de 20cm y que se encuentra empotrada en los lados.

*Especificación de procedimiento.*- Se utiliza para especificar procedimientos de cálculo. Ejemplo: El escalón de la escalera es seguro si tiene una deflexión máxima de 0,3 mm

*Especificación de fabricación.*- Se refiere a todos los detalles que debe constar en los planos y procesos de fabricación. Ejemplo: dimensiones, tolerancias, calidad superficial. Etc.

#### **2.4.1** *Generación de alternativas.*

1. *Método de generación de idea.*- Es un método de generación de ideas que consiste en:

- Formar un grupo de personas.
- Cada persona genera 3 alternativas de solución.
- Las soluciones presentadas son analizadas y evaluadas por los miembros del grupo.

2. *Método de lluvia de idea.*- Este método es utilizado para la solución de problemas de ingeniería en general. Consiste:

- Establecer grupos de personas.
- Nombrar un líder del grupo.
- El líder del grupo plantea el problema.
- Los miembros del grupo dan posibles soluciones.

- El líder del grupo da las posibles soluciones luego son analizados y son seleccionados las que cumplan con los objetivos y restricciones.
  - Puede utilizar bosquejos a mano alzada.
3. *Bosquejos a mano alzadas.*- Consiste en una secuencia muy simple para su ejecución.
- Grupo de diseño.
  - Generación de alternativas.
  - Dibujos a mano alzada.
  - Evaluación, ventajas y desventajas.
4. *Tabla o Matriz morfológica.*- Es una serie de cuadros en donde se comparan opciones (alternativas) de diseño para cada una de las diferentes partes del instrumento. En este cuadro se analizan las ventajas y desventajas de cada una de las opciones (alternativas) y se selecciona la mejor de acuerdo a los criterios estudiados en las mismas.

## **2.5 Diseño Preliminar.**

### **2.5.1 Matriz de selección o evaluación.**

Se requiere elaborar una matriz de evaluación en donde se encuentran todas las opciones antes mencionadas de las matrices morfológicas, en esta matriz de evaluación se comparan todas las opciones (alternativas) de diseño que se contemplaron y de acuerdo a diversos criterios se les va asignar una valor a cada una de las opciones, dichos valores conceden un puntaje final a cada una de las opciones, y este puntaje final nos deja ver claramente opción conviene más para el diseño.

Para esta matriz se toma en cuenta detalles de fabricación, seguridad, modificaciones, mantenimiento, cambios de partes, costos, vibraciones, conductividad térmica, tamaño, peso, resistencia, durabilidad y la utilización de piezas estándar fáciles de encontrar en el mercado.

Dentro de la matriz cada opción tendrá una variable y un valor determinado el cual se proporcionara según el grado de importancia del elemento. En esta tabla de evaluación el valor de mínima importancia será de 0,5 para dar un valor final de 10.

## **2.6    Diseño Detallado.**

El diseño detallado tiene como objeto realizar la optimización de la alternativa seleccionada.

**2.6.1    Planos de Ingeniería.**- Es el conjunto del diseño indicando sus partes en 2D, En vista: frontal y superior del conjunto, detalles del dibujo.

## **CAPÍTULO III**

### **3 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA FACULTAD DE MECÁNICA.**

#### **3.1 Información general.**

**3.1.1** *Identificación de la facultad.*- La Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, cuenta con la unidad productiva CEDICOM que la conforman los siguientes talleres y laboratorios.

Talleres:

- Automotriz
- Fundición
- Producción Metal Mecánica
- Máquinas Herramientas
- Soldadura

Laboratorios:

- Tratamientos térmicos
- Metalografía
- Ensayos no destructivos
- Resistencia de materiales
- Eficiencia energética
- Automatización de procesos
- Electricidad y electrónica
- Termofluidos
- Cómputo
- Óleo hidráulico y neumático.
- Instrumentación

#### **3.1.2 Localización.**

País : Ecuador  
Región : Sierra  
Provincia : Chimborazo  
Cantón : Riobamba  
Dirección : Panamericana Sur. Km. 1 ½

### 3.1.3 *Productos de bienes.*

#### Área Estructural

- Construcción y mantenimiento de mobiliario
- Estructuras metálicas
- Servicio de soldadura estructural

#### Área Fundición

Fabricación de partes y piezas previamente elaboradas en el molde para luego, mediante el proceso de colado de hierro fundido, aluminio y bronce son puestos a disposición del fabricante.

#### Maquinas-herramientas

- Diseño y construcción de elementos de máquinas
- Reparación de partes y piezas
- Matricería y moldes (corte, doblado, embutición).
- Máquina de electroerosión
- Troqueladora de 25 toneladas

Figura 20. Facultad de Mecánica.



Fuente: Autor.

### **3.1.4 *Misión y visión.***

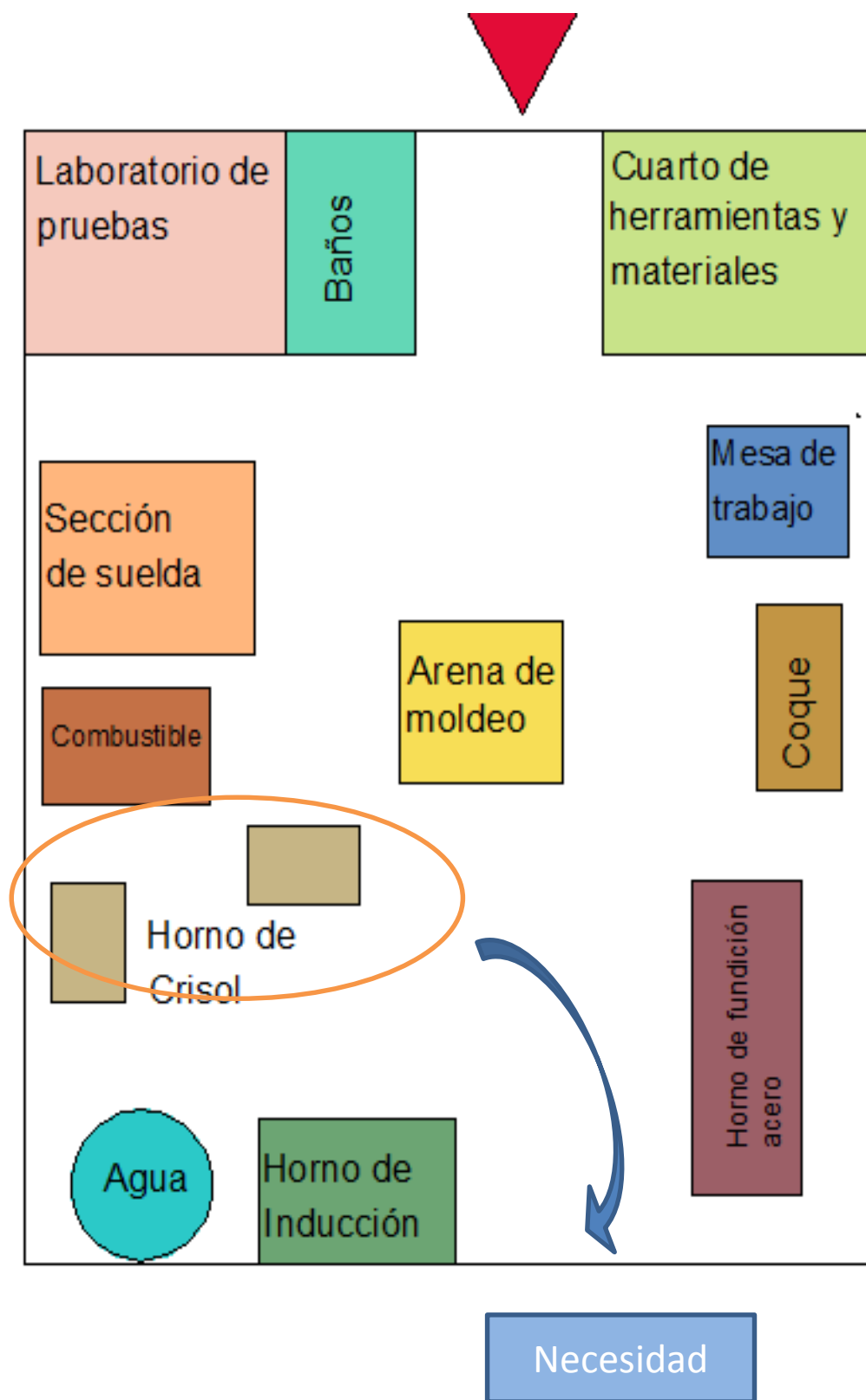
#### **3.1.4.1 *Misión.***

Apoyar en la gestión académica y de producción de bienes y servicios especializados en las Escuelas de a las Escuelas de Ingeniería Mecánica, Ingeniería Industrial, Ingeniería de Mantenimiento e Ingeniería Automotriz.

#### **3.1.4.2 *Visión.***

Ser una unidad productiva eficiente y ágil, cuyo servicio sea de calidad de tal forma que demuestre el profesionalismo de los politécnicos y aporte significativamente al desarrollo de la actividad investigativa y productiva de la Facultad de Mecánica, para lograr el reconocimiento social

**3.2 *Distribución del taller de Fundición.*** Esta distribución determina cada uno de las áreas que se presenta en el taller de fundición.



## CAPÍTULO IV

### 4 DISEÑO DEL PIRÓMETRO DE INMERSIÓN

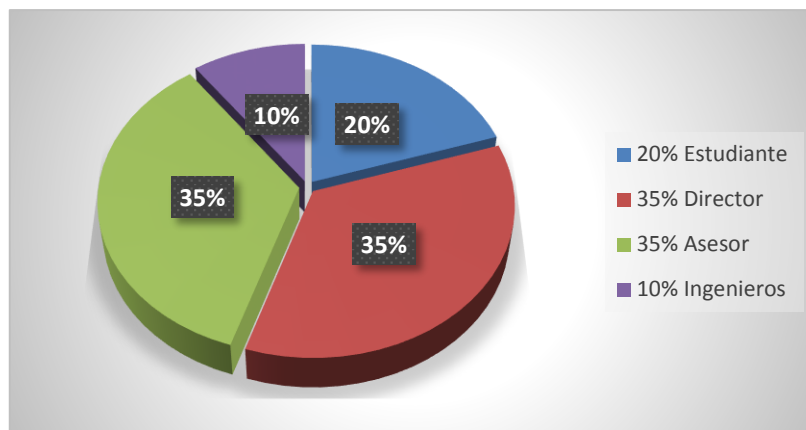


## 4.1 Diseño Conceptual.

**4.1.1 Método de generación de ideas.-** Durante este proceso se pretende encontrar muchas alternativas en los diferentes grupos de personas, para luego seleccionar una propuesta favorable.

- Grupo de diseño. En este paso se pretende identificar las personas que aportaran las ideas para definir un instrumento denominado pirómetro de inmersión.

Figura 21. Grupo de aporte de ideas.

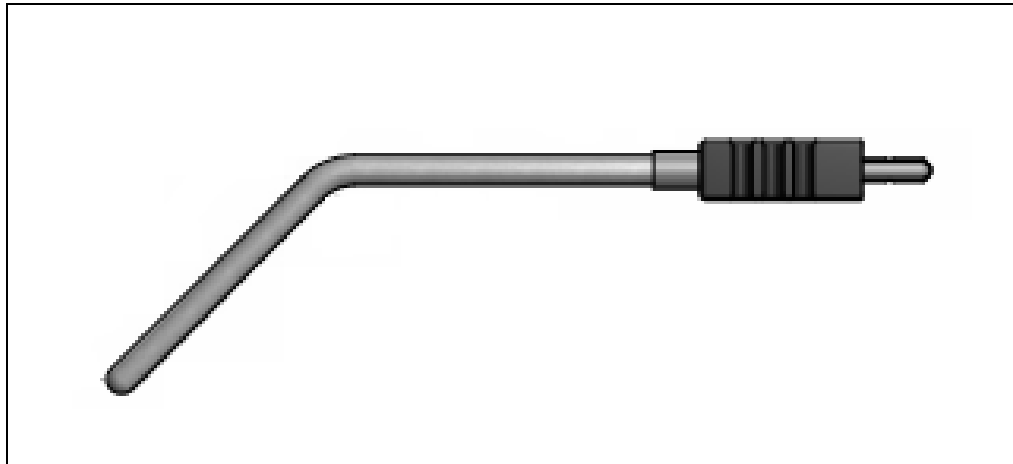


Fuente: Autor

- Generación de alternativas.
  - Pirómetro de inmersión con rama caliente y rama fría a 45<sup>0</sup> con enchufe de conexión de material INCONEL alloy 600.
  - Pirómetro de inmersión con tubo vertical, cabeza de conexión y material cerámico.
  - Pirómetro de inmersión con tubo de rama caliente y rama fría a 90<sup>0</sup> con cabeza de conexión de material de acero inoxidable 304
- Dibujos a mano alzada.

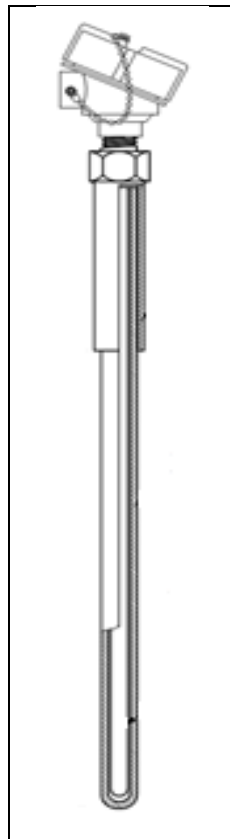
En este paso se pretende tener esquemas que nos permita mostrar una idea del elemento final, dándonos así una muestra gráfica.

Figura 23. Vaina a 45°, con interruptor macho.



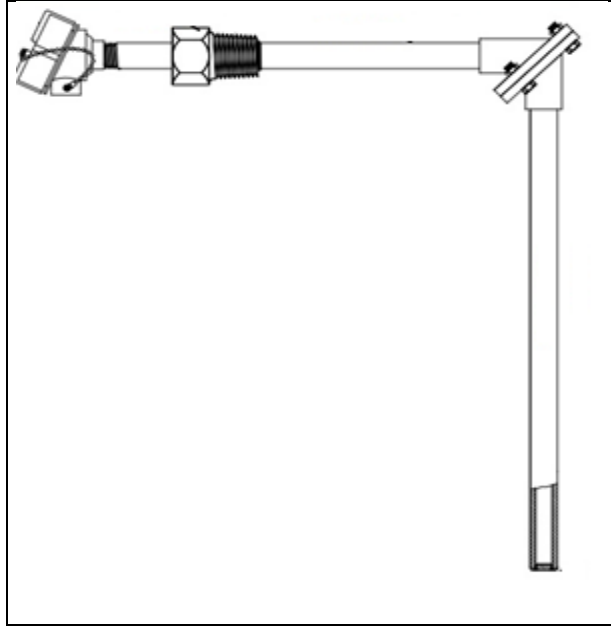
Fuente: Autor.

Figura 24. Vaina vertical con cabeza de conexión.



Fuente: Autor.

Figura 25. Vaina a 90°, con cabeza de conexión.



Fuente: Autor.

- Evaluación.

Una vez plasmadas las ideas con diferentes detalles que identifican a un instrumento con una función de transmitir el calor a los sensores de temperatura para luego proceder a indicar la temperatura del material no ferroso que se está fundiendo.

**4.1.2 Especificaciones para el diseño.-** Ante la necesidad de diseñar un instrumento denominado pirómetro de inmersión para los hornos de materiales no ferrosos que me permita obtener valores de temperaturas. Para ello se establece una serie de requerimientos que debemos satisfacer con el diseño a realizar. Por lo tanto, en este capítulo se fundamentaran las necesidades a cubrir tomando en cuenta todos los detalles como: dimensiones, operaciones y comportamiento.

El instrumento debe ser capaz de captar y mostrar la temperatura medida del horno en el proceso de fundición de los materiales no ferrosos; Estaño, Zinc, Aluminio, Bronce, etc. Los materiales a utilizar deberán ser lo suficiente fuertes para garantizar seguridad, funcionabilidad y estabilidad del instrumento; y de este modo minimizar los riesgos de fracturas, deflexión y fallas en general. Los materiales de las piezas que trabajaran directamente, deben ser bastantes rígidos y durables, sin olvidar que estos deben ser livianos para su movilización. El instrumento trabajara de forma vertical “rama caliente” (perpendicular a la tapa del horno) y “rama fría” horizontal, con una inclinación de 45 grados, para introducir de una manera sencilla al horno. En lo referente al blindaje

|                     |   |   |  |   |
|---------------------|---|---|--|---|
| <b>Ventajas</b>     | Y su bajo costo y disponibilidad en el mercado. | Constantán (Cobre 58%-Níquel 42%). Y su costo accesible y disponibilidad en el mercado. | Alumel (Níquel 95,4%-Manganeso 1,8%-Silicio 1,6%-Aluminio 1,2%). Rango de temperatura es adecuado para la fusión de materiales no ferroso. Rango: -200 °C a los +1260 °C Y su costo accesible y esta disponibilidad en el mercado. | Puede utilizarse en atmosferas inertes y oxidable, presenta estabilidad a lo largo del tiempo en temperaturas elevadas, superiores a los de los termopares no construidos de platino. |
| <b>Aspecto:</b>     | <b>Termocuplas.</b>                             |   |  |   |
| <b>Alternativas</b> | <b>Tipo J</b>                                   | <b>Tipo E</b>   | <b>Tipo K</b>  | <b>Tipo S</b>   |

metálico o vaina, deberá ser resistente y tener una buena transferencia de calor que permita obtener las señales de entrada en los termopares.

**4.1.3 Matriz morfológica.-** El instrumento cuenta con diferentes partes, cada una de las cuales tiene un funcionamiento totalmente distinto, por esto se decidió realizar una matriz morfológica para cada una de las partes. En cada matriz se obtendrán lo pro y la contra de cada elección y de este modo llegar a la mejor opción para nuestro diseño.

## TERMOCUPLA / TERMOPARES

## TUBO DE PROTECCIÓN. (VAINA)

|                    |  |   |  |  |
|--------------------|--|---|--|--|
| <b>Desventajas</b> |  |   | No se utiliza en atmósfera reductoras y sulfurosas. En   | Su costo alto y  |
|                    | Limitación del rango de temperatura para la función requerida. 40% para los 760 °C a los 870 °C resistencia a condiciones de temperatura es de: 58% de Hierro (Fe) y 42% de Constantán | Limitación del rango de temperatura para la función requerida. 20% para los 200 °C a los 4870 °C resistencia a condiciones de temperatura es de: Chromel (Níquel 90%-Cromo 10%) | temperaturas muy altas y atmósferas podres en oxígeno ocurre una difusión de la aleación para cromo, lo que ocasiona grandes desviaciones de la curva de respuesta del termopar (Níquel 90%-Cromo 10%) | su disponibilidad bajo en el mercado. Fácil de contaminación, se requiere su protección. a condiciones de temperatura es de: Platino (90%) y Rhodio (10%). |

*Los aceros inoxidables.* La aleación 304 es un acero inoxidable austenítico de uso general con una estructura cúbica de caras centradas. Es esencialmente no magnético en estado

recocido y sólo puede endurecerse en frío. Su bajo contenido en carbono con respecto a

| Aspecto:     | Tubo de protección. (Vaina)  |  |   |
|--------------|--|--|---|
| Alternativas | Acero inox. 304  | Inconel alloy 600  | Cerámicos   |
| Ventajas.    | <p>Una aleación de 18% Cr.</p> <p>8% Ni dando una buena resistencia a oxidación y corrosión.</p> | <p>Temperaturas desde criogénicas hasta los 2 575 °F (1 413 °C) una aleación de níquel 72% y 14% de Cromo, con una buena resistencia a la oxidación a temperaturas elevadas. Resiste a la grietas de corrosión bajo carga causadas por el ion cloruro. Se utiliza en componentes de hornos, en procesos químicos y alimenticios, en la ingeniería nuclear y para electrodos de chispas</p> | <p>Excelente resistencia a choque térmico y buena resistencia mecánica. Mantenimiento mínimo, Autoextinguibles, Translúcidos, Resistentes a impacto, Resistentes a abrasión, Durabilidad elevada, Uso en medios químicamente agresivos.</p> |
| Desventajas  | <p>Su costo alto y su disponibilidad son bajo en el mercado.</p>                                 | <p>Su costo alto y su disponibilidad son bajo en el mercado.</p>   | <p>Baja conductividad térmica.</p>  |

la aleación 302 otorga una mejor resistencia a la corrosión en estructuras soldadas.

Tabla 7. Propiedades del acero inoxidable.

|                               |
|-------------------------------|
| <b>Propiedades Eléctricas</b> |
|-------------------------------|

|  |   |
|--|---|
| Resistividad Eléctrica ( $\mu\text{Ohm cm}$ )                    | 70-72   |
| <b>Propiedades Físicas</b>                                       |   |
| Densidad ( $\text{g cm}^{-3}$ )                                  | 7,93  |
| Punto de Fusión ( $^{\circ}\text{C}$ )                           | 1400-1455   |
| <b>Propiedades Mecánicas</b>                                     |   |
| Alargamiento ( $\%$ )  | <60   |
| Dureza Brinell   | 160-190   |
| Impacto Izod ( $\text{J m}^{-1}$ )                               | 20-136  |
| Módulo de Elasticidad ( $\text{GPa}$ )                           | 190-210   |
| Resistencia a la Tracción ( $\text{MPa}$ )                       | 460-1100  |
| <b>Propiedades Térmicas</b>                                      |   |
| Coefficiente de Expansión Térmica @                              | 20-100C ( $\times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ )      18,0 |
| Conductividad Térmica a 23C ( $\text{W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ) | 16,3  |

Fuente: Autor.

*El Inconel ® de níquel-cromo-hierro aleación 600.* Es un material de ingeniería estándar para aplicaciones que requieren resistencia a la corrosión y al calor. La aleación también tiene excelentes propiedades mecánicas y presenta la deseable combinación de alta resistencia y buena manejabilidad.

El alto contenido de níquel da la resistencia a la aleación a la corrosión por muchos compuestos orgánicos e inorgánicos y también hace que sea prácticamente inmune a la tensión de corrosión cloruro de iones de craqueo. Cromo confiere resistencia a los compuestos de azufre y también proporciona una resistencia a condiciones oxidantes a altas temperaturas o en soluciones corrosivas.

La aleación no es endurecible por precipitación, sino que se ha endurecido y fortalecido sólo por trabajo en frío.

Tabla 8. Propiedades del Inconel ® de níquel-cromo-hierro aleación 600.

| Propiedades Eléctricas                       |           |
|--|-----------|
| Resistividad Eléctrica ( $\mu\text{Ohmcm}$ ) | 103       |
| Propiedades Físicas                          |           |
| Densidad ( $\text{g cm}^{-3}$ )              | 8,42      |
| Punto de Fusión ( $^{\circ}\text{C}$ )       | 1370-1425 |
| Propiedades Mecánicas                        |           |
| Alargamiento ( % )                           | <50       |
| Dureza Brinell                               | 120-290   |



|   |                                    |
|---|------------------------------------|
| Impacto Izod ( J m-1 )                  | 160                                |
| Módulo de Elasticidad ( GPa )           | 157                                |
| Resistencia a la Tracción ( MPa )       | 600-1200                           |
| <b>Propiedades Térmicas</b>             |                                    |
| Coeficiente de Expansión Térmica @      | 20-100C ( x10-6 K-1 )    11,5-13,3 |
| Conductividad Térmica a 23C ( W m-1 K-1 | 14,8                               |

Fuente: Autor.

*Los materiales cerámicos.* Debido a sus enlaces iónicos y covalentes son duros, frágiles, tienen baja conductividad eléctrica y térmica. Son buenos aislantes eléctricos y térmicos debido a la falta de electrones conductores.

Tabla 9. Propiedades de los materiales Cerámicos.

| <b>Las propiedades más importantes en los materiales cerámicos.</b> |   |
|---|---|
| <b>• Color y aspecto:</b>   | El color depende de las impurezas (óxido de hierro) y de los aditivos que se empleen con la finalidad de ornamentar en la construcción. |
| <b>• Densidad y porosidad:</b>                                      | Son en todo análogas en lo definido para piedras naturales. La densidad real es del orden de 2g/cm <sup>3</sup> .                       |

|                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| • <b>Absorción:</b>                  | Recibe el nombre de absorción específica al % en peso de agua absorbida respecto de una pieza seca. Con ella está relacionada la permeabilidad.   |
| • <b>Resistencia mecánica:</b>       | Usualmente la exigencia se refiere a la resistencia a compresión y módulo de elasticidad, magnitudes muy relacionadas con la porosidad. Cabe así mismo señalar la aceptable resistencia a tracción del material cerámico. |
| • <b>Dureza:</b>                     | Presentan una gran resistencia mecánica al rozamiento, al desgaste y a la cizalladura.  |
| • <b>Temperatura:</b>                | Son capaces de soportar altas temperaturas, elevado punto de fusión, bajo coeficiente de dilatación y baja conductividad térmica.   |
| • <b>Características eléctricas:</b> | Poseen una amplia gama de cualidades eléctricas.  |

Fuente: Autor.

## INDICADOR DE TEMPERATURA.

## 4.2 Diseño preliminar.

**4.2.1 Matriz de evaluación.-** Finalmente se requiere elaborar una matriz de evaluación en donde se encuentra todas las opciones antes mencionadas de las matrices morfológicas.

En esta matriz de evaluación se compara todas las opciones presentes que se contemplaron y de acuerdo a diversos criterios se les va asignar un valor a cada una de las opciones, dichos valores conceden un puntaje a cada una de las opciones y este puntaje

| Aspecto:     | INDICADOR DE TEMPERATURA.   |   |
|--------------|---|---|
| Alternativas | MODELO SXTA-H2IT1MARCA SRK,   | MODELO DC1010CT111000-E MARCA HONEYWELL (1/16 DIN)  |
| Ventajas     | Indicador digital inteligente, Rango de visualización - 1999 – 9999, De entrada; de tensión, actual, rtd, tc, temperatura: 0-50°C Y precisión: 0.2% | Un código de seguridad de 4 dígitos evita cambios no autorizados. Parámetros También se puede ocultar para que el usuario evitar errores de configuración de la unidad. |
| Desventajas  | Temperatura mínima.   | Menor de 1200 °C<br><br>El tamaño es de 1.79x1.79 (in)  |

final nos deja claramente que opción conviene seleccionar. Para esta matriz se toman en cuenta detalles de fabricación, seguridad, mantenimiento, costos, eficiencia, tamaño, peso, resistencia y durabilidad.

Tabla 10. Asignación y valoración de la matriz de evaluación.

| Criterio           | Variable | Valor     |
|--------------------|----------|-----------|
| Manufacturabilidad | Mf       | 1         |
| Seguridad          | S        | 2.5       |
| Mantenimiento      | Mn       | 0.5       |
| Costos             | C        | 2.5       |
| Tamaño             | T        | 1         |
| Peso               | P        | 1         |
| Resistencia        | R        | 0.5       |
| Durabilidad        | D        | 0.5       |
| Eficiencia         | E        | 0.5       |
| <b>TOTAL</b>       |          | <b>10</b> |

Fuente: Autor.

Tabla 11. Matriz de evaluación.

| Aspecto | Alternativas | Criterios de evaluación de alternativas |          |           |          |        |        |          |          |          | Tot-al |
|---------|--------------|---|----------|-----------|----------|--------|--------|----------|----------|----------|--------|
|         |              | Mf<br>1                                 | S<br>2.5 | Mn<br>0.5 | C<br>2.5 | T<br>1 | P<br>1 | R<br>0.5 | D<br>0.5 | E<br>0.5 |        |
|         | Tipo J       | 1                                       | 1.0      | 0.5       | 2.5      | 1      | 1      | 0        | 0.5      | 0.2      | 7.7    |

|                                       |                       |     |     |     |     |   |   |     |     |     |      |
|---------------------------------------|-----------------------|-----|-----|-----|-----|---|---|-----|-----|-----|------|
| Termocu<br>pla<br><br>(Figura.2<br>5) | Tipo E                | 0.5 | 1.0 | 0.5 | 2.5 | 1 | 1 | 0   | 0.5 | 0.2 | 7.2  |
|                                       | Tipo K                | 1   | 2.5 | 0.5 | 2.0 | 1 | 1 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 9.5  |
|                                       | Tipo S                | 1   | 2.5 | 0.5 | 1.5 | 1 | 1 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 9.0  |
|                                       |                       |     |     |     |     |   |   |     |     |     |      |
| Vaina<br><br>(Figura.2<br>6)          | Acero<br>inox. 304    | 0.5 | 2.5 | 0.5 | 1.5 | 1 | 1 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 8.5  |
|                                       | Inconel<br>alloy 600  | 1   | 2.5 | 0.5 | 2.0 | 1 | 1 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 9.5  |
|                                       | Cerámicos             | 1   | 1.5 | 0.5 | 2.5 | 1 | 1 | 0   | 0.5 | 0   | 5.75 |
|                                       |                       |     |     |     |     |   |   |     |     |     |      |
| Indicado<br>r de                      | Modelo<br>sxta- h2it1 | 1   | 0.5 | 0.5 | 2.5 | 1 | 1 | 0   | 0.5 | 0.5 | 5.25 |

|   |                                |   |     |     |     |         |   |     |     |     |     |
|---|--------------------------------|---|-----|-----|-----|---------|---|-----|-----|-----|-----|
| temperat<br>ura<br><br>(Figura.2<br>7-28) | Modelo<br>dc1010ct<br>111000-e | 1 | 2.5 | 0.5 | 2.0 | 0.<br>5 | 1 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 9.0 |
|---|--------------------------------|---|-----|-----|-----|---------|---|-----|-----|-----|-----|

Fuente: Autor.

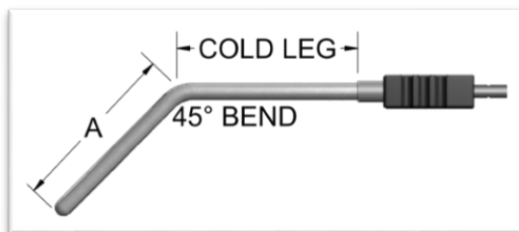
Analizando las opciones tenemos una idea más clara de lo que será el diseño final del instrumento (figura 29). Se muestra el termopar, la vaina y el indicador de temperatura. El modelo del instrumento será de la siguiente manera:

Figura 26. Termocupla tipo K.



Fuente: Autor.

Figura 27. Vaina Inconel alloy 600.



Fuente: Autor

Figura 28. Indicador de temperatura modelo DC1010ct111000-e



Fuente: Autor

*Selección de la vaina aleación 600.* Una vez determinado el tipo de material mediante la matriz de evaluación se procedió a la selección del blindaje metálico que ha de soportar altas temperatura en lo referente a fundición en materiales ferrosos. Se llegó a seleccionar de una vaina K43GM-040-224-4,HT.

Tabla 12. Catlogo de blindaje metalico.

**Example Order Number:** 1-1 1-2 1-3 1-4 1-4 A 1-5

**K 4 8 G M - 012 -** For Optional Sheath Mounting Fittings See Page MgO-2

**1-1 Tipo de termopares**

| CODE          |               |
|---------------|---------------|
| <i>SINGLE</i> | <i>DUPLEX</i> |
| E             | EE            |
| J             | JJ            |
| K             | KK            |
| T             | TT            |
| N             | NN            |

**1-2 Diámetro de la vaina**

| CODE | DIAMETER (inches)   |
|------|---------------------|
| 1    | 1/16 <sup>[1]</sup> |
| 2    | 1/8                 |
| 3    | 3/16                |
| 4    | 1/4                 |
| 6    | 3/8                 |

[1] 1/16" will be coiled unless otherwise specified for 36" and longer lengths.

**1-3 Material de la vaina**

| CODE | MATERIAL            | STANDARD AVAILABLE TYPES |
|------|---------------------|--------------------------|
| 3    | Alloy 800           | K, N                     |
| 4    | 310 Stainless steel | K                        |
| 5    | 446 Stainless steel | K <sup>[1]</sup>         |
| 8    | 316 Stainless steel | E, J, K, T               |

[1] All sensors with 446SS sheaths must have an ungrounded measuring junction.

**1-5 "X" Dimension**

Insert three digit sheath length ("X" Dimension) in inches

Sheath lengths over 72" will be shipped in a coiled configuration unless otherwise specified.

**1-4 A Opción especial**

| CODE | DESCRIPTION                             |
|------|---|
| M    | Special limits of error                 |
| H    | High-Purity MgO Insulation (99.4% Pure) |

Use this table only if options are desired.

**1-4 Unión a tierra**

| CODE             | DESCRIPTION               |
|------------------|---------------------------|
| G                | Grounded junction         |
| U                | Ungrounded junction       |
| E <sup>[1]</sup> | Exposed junction          |
| S                | Exposed shielded junction |

[1] Not available with 1/16" O.D..

**1-2 A Reduced-Tip MgO Thermocouples**

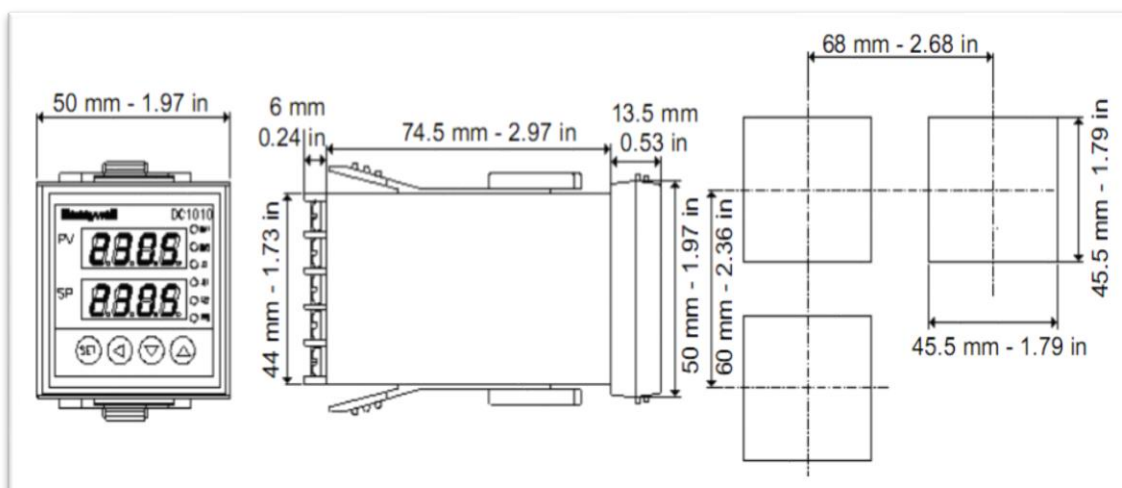
| CODE  | NORMAL SHEATH DIA. O.D. (inches) | TIP DIA. (inches) | TIP LENGTH (inches) | MATERIAL |
|-------|----------------------------------|-------------------|---------------------|----------|
| 88R48 | 1/2                              | 1/4               | 1 (1/4)             | 316 SS   |
| 68R38 | 3/8                              | 3/16              | 1 (1/4)             | 316 SS   |
| 48R28 | 1/4                              | 1/8               | 1 (1/4)             | 316 SS   |

Table 1-2 A lists thermocouple elements with reduced-tip sheaths. To order, use order code numbers from Tbl. 1-2 A in place of straight sheath order code numbers from Tbl. 1-2 and 1-3. EXAMPLE: J88R48

Fuente: Autor.

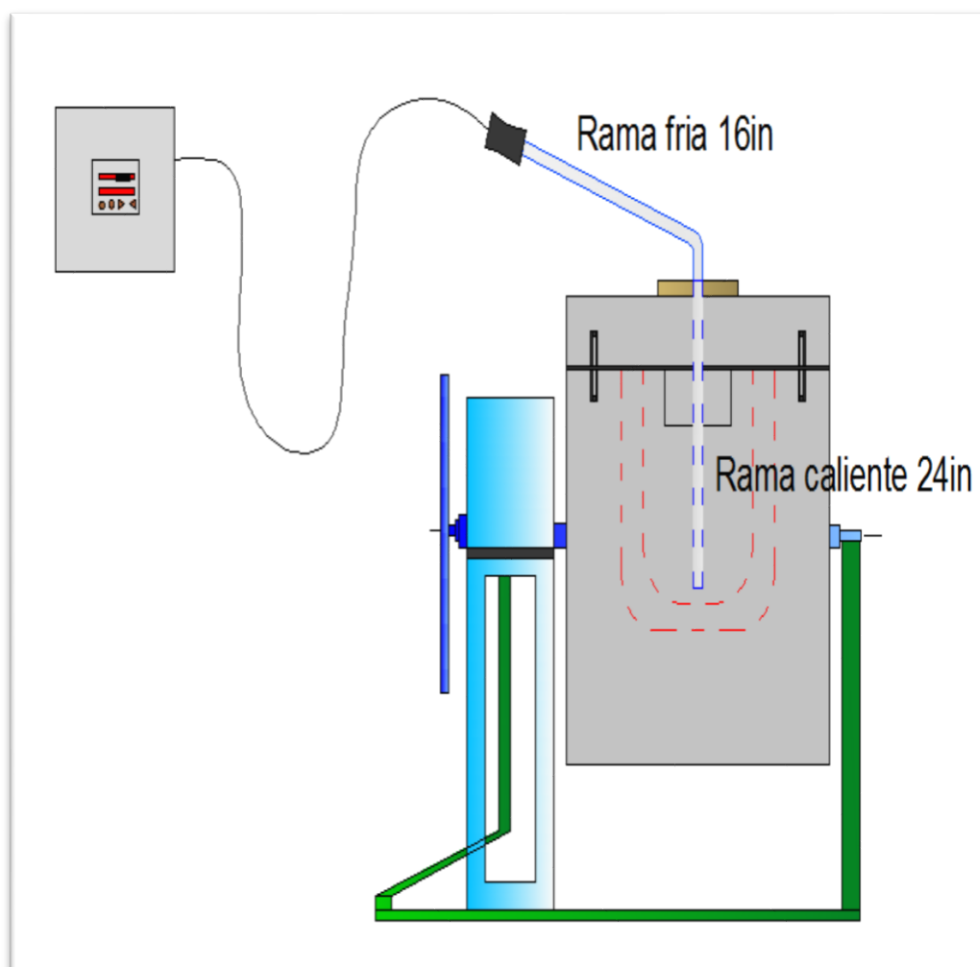
La selección de la vaina para las longitudes tanto el de rama caliente como el de rama fría fue escogida de acuerdo a las dimensiones y longitudes del horno de crisol (Figura 32).

Figura 29. Partes del indicador de temperatura



Fuente: Autor.

Figura 30. Diseño final del instrumento.

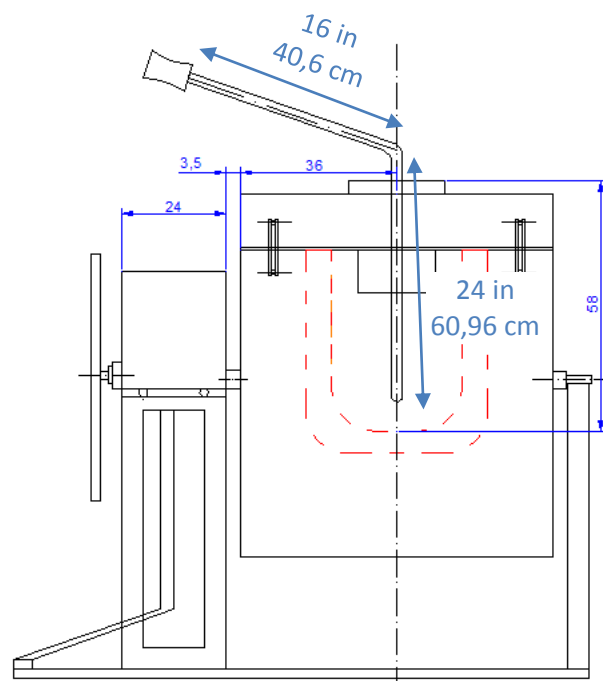


Fuente. Autor.



[illegible]

Figura 32. Medida del Pirómetro en función del horno.



62

## CAPÍTULO V

### 5. CONSTRUCCIÓN DEL PIRÓMETRO DE INMERSIÓN

#### 5.1 Seguridad para la construcción e implementación.

Se debe mantener siempre la seguridad e higiene en los procesos industriales para precautelara la integridad del operario.

##### 5.1.1 *Seguridad en el taller.*

- Las áreas del taller deben estar correctamente distribuidas.
- El taller debe poseer mínimo un extintor grande para cualquier emergencia, preferentemente de CO<sub>2</sub>.
- Las zonas donde se encuentran las maquinas deben ser correctamente señalizadas.
- Cuando se opera una maquina deben estar debidamente vestidos.
- Los cables de las maquinas no deben estar en el suelo sino debidamente instalados y no deben haber cables pelados.
- Las instalaciones eléctricas deben ser bien realizadas.
- Deben existir una adecuada iluminación natural y además de eso poseer un sistema de iluminación artificial óptimo.
- Debe existir una correcta ventilación del lugar.

##### 5.1.2 *Higiene en el taller.*

Está basada en cumplir todas las predisposiciones de higiene que puedan presentarse en el taller de fundición.

- El taller debe poseer wype o franelas para la limpieza de las herramientas, maquinarias y de los operarios.
- Se debe tener jabón o material de limpieza para las manos del operario.
- Limpiar adecuadamente las herramientas y maquinarias después de la jornada de trabajo para eliminar polvo, limallas y grasas.
- Realizar rutinas programadas de limpieza del taller y del equipo con el que este cuenta.
- Realizar mantenimientos preventivos al equipo del taller.
- Los operarios deben tener un chequeo periódico de su salud.

### **5.1.3 *Ropa y equipo de trabajo.***

- Usar ropa adecuada, puede ser un pantalón jean y un mandil o un overol.
- La ropa no debe ser floja y con el menor número de bolsillos ya que se puede atorar en algunas máquinas en movimiento.
- La ropa debe tener el debido grosor para que proteja a la persona ante cualquier agente externo, debe ser resistente a la temperatura.
- Cuando se realicen operaciones de mecanizado (taladrado, limado, esmerilado) y procesos de suelda se debe utilizar gafas protectoras y tapones para oídos.
- De igual manera en trabajos riesgosos se deben utilizar guantes adecuados para proteger las manos.

## **5.2 Seguridad en el taller mediante el Programa de aplicación metodológica de las “5 S”.**

El orden y la limpieza en las instalaciones contribuyen en gran medida a la mejora de la productividad, la calidad y la seguridad en el trabajo, para lograrlo se aplicarán principios de bienestar personal y organizacional, que lleva el nombre de metodología de las "5 S".

El objetivo del sistema de calidad “5 S” consiste en optimizar los recursos, tanto humano como físicos existentes en la institución, para hacerlos más eficientes y que puedan funcionar por sí solos, además esta metodología contempla todos los aspectos básicos necesarios para crear un ambiente de calidad (ver tabla 12); y es uno de los principales antecedentes para establecer otros sistemas como las normas ISO y de Calidad Total.

Tabla 13. Significados y propósitos de las “5 s”

| <b>Nombre japonés y significado</b> | <b>Propósito</b>                | <b>Beneficios</b>  | <b>Pensamientos que imposibilitan la implantación</b>       |
|-------------------------------------|---------------------------------|--|---|
| <b>SEIRI</b><br>Clasificación       | Mantener sólo lo necesario      | Mayores niveles de seguridad reflejados en motivación de los empleados | Es necesario mantener los equipos sin parar                 |
| <b>SEITON</b><br>Organización       | Mantener todo en orden          | Reducción en las pérdidas de producir con defectos                     | Los trabajadores no cuidan el sitio                         |
| <b>SEISO</b><br>Limpieza            | Mantener todo limpio            | Mayor calidad y es más productiva                                      | Hay numerosos pedidos urgentes para perder tiempo limpiando |
| <b>SEIKETSU</b><br>Estandarización  | Cuidar su salud física y mental | Tiempos de respuesta más cortos  | Creo que el orden es el adecuado no tardemos tanto tiempo   |

|                               |                                   |                                     |   |
|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|---|
| <b>SHITSUKE</b><br>Disciplina | Mantener un comportamiento fiable | Aumenta la vida útil de los equipos | Un trabajador inexperto para la limpieza, sale más barato |
|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|---|

Fuente: Autor.

*Clasificación.* El primer paso en la implantación del Seiri consiste en la identificación de los elementos innecesarios en el lugar seleccionado. En este caso será el taller de Fundición de la Facultad de Mecánica. Para identificar estos elementos se debe diseñar una tabla que permite registrar el elemento, su ubicación, cantidad encontrada, posible causa y acción sugerida para su eliminación. En este sentido, de acuerdo a los objetivos de la investigación se presenta la siguiente lista:

Tabla 14. Aplicación Seiri (Clasificación).

| <b>Aplicando Seiri en Rectilab Motor Cía. Ltda.</b> |                  |                            |                             |
|---|------------------|----------------------------|-----------------------------|
| <b>Elemento</b>                                     | <b>Ubicación</b> | <b>Causa y/o condición</b> | <b>Acción sugerida</b>      |
| Moldes  | Patio del taller | Sin uso                    | Mover a un almacén temporal |
| Crisol  | Patio del taller | Sin uso                    | Mover a un almacén temporal |

Fuente: Autor.

Esta tabla es el resultado de un proceso de inspección en el taller, la cual queda como sugerencia para el momento de implementar la estrategia.

*Ordenar.* El objetivo de este paso es que exista un lugar para cada artículo, adecuado a las rutinas de trabajo, listos para utilizarse y con su debida señalización.

Seiton consiste en organizar los elementos que se clasifican como necesarios de modo que se puedan encontrar con facilidad. Aplicar Seiton en mantenimiento tiene que ver con la mejora de la visualización de los espacios y los elementos de las máquinas en general.

Una vez eliminados los elementos innecesarios, se define el lugar donde se deben ubicar aquellos que se necesitan con frecuencia, identificándolos para eliminar el tiempo de búsqueda y facilitar su retorno al sitio una vez utilizados (es el caso de la herramienta).

Una vez que se han desechado los elementos innecesarios del área de trabajo, resta ordenar los elementos necesarios y en este sentido redistribuir el espacio, en función de ello se deben realizar las siguientes actividades.

Tabla 15. Aplicación Seiton (Organización).

| Aplicando Seiton |  |
|------------------|--|
| #                | Actividad  |
| 1                | Ordenar los puestos de trabajo de acuerdo a la función del trabajo |
| 2                | Clasificar e identificar los desechos                              |
| 3                | Ordenar y clasificar las herramientas y equipos de trabajo         |

|   |   |
|---|---|
| 4 | Señalizar las zonas de trabajo  |
| 5 | Instalar los extintores necesarios  |
| 6 | Reparar las instalaciones eléctricas  |
| 7 | Construir un almacén para los materiales de fabricación y materiales para el encendido de los hornos. |
| 8 | Clasificar y ordenar los equipos requeridos   |

Fuente: Autor.

*Limpieza.* El objetivo del Seiso es establecer una metodología que evite que el área de trabajo se ensucie. La limpieza se relaciona estrechamente con el buen funcionamiento de los equipos y la habilidad para producir artículos de calidad.

La limpieza implica no únicamente mantener los equipos dentro de una estética agradable permanentemente. Seiso implica un pensamiento superior a limpiar. Exige que se realice un trabajo creativo de identificación de las fuentes de suciedad y contaminación para tomar acciones de raíz para su eliminación, de lo contrario, sería imposible mantener limpio y en buen estado el área de trabajo. Se trata de evitar que la suciedad, el polvo, y las limaduras se acumulen en el lugar de trabajo.

Para aplicar Seiso se debe.

- Integrar la limpieza como parte del trabajo diario.

- Asumirse la limpieza como una actividad de mantenimiento autónomo: "la limpieza es inspección"
- Se debe abolir la distinción entre operario de proceso, operario de limpieza y técnico de mantenimiento.
- El trabajo de limpieza como inspección genera conocimiento sobre el equipo. No se trata de una actividad simple que se pueda delegar en personas de menor calificación.
- No se trata únicamente de eliminar la suciedad. Se debe elevar la acción de limpieza a la búsqueda de las fuentes de contaminación con el objeto de eliminar sus causas primarias

#### Paso 1. Campaña o jornada de limpieza

La primera acción es convocar una campaña de orden y limpieza. En esta jornada se eliminan los elementos innecesarios y se limpian los equipos, pasillos, armarios, almacenes, etc.

Esta clase de limpieza no se puede considerar un Seiso totalmente desarrollado, ya que se trata de un buen inicio y preparación para la práctica de la limpieza permanente. Esta jornada de limpieza ayuda a obtener un estándar de la forma como deben estar los equipos permanentemente.

#### Paso 2. Planificar el mantenimiento de la limpieza.

El encargado del área debe asignar un contenido de trabajo de limpieza en la zona indicada y fijar responsabilidades por zona a cada trabajador. Esta asignación se debe registrar en un gráfico en el que se muestre la responsabilidad de cada persona.

#### Paso 3. Preparar el manual de limpieza.



Es muy útil la elaboración de un manual de entrenamiento para limpieza. Este manual debe incluir además del gráfico de asignación de áreas, la forma de utilizar los elementos de limpieza, detergentes, jabones, aire, agua; como también, la frecuencia y tiempo medio establecido para esta labor. Las actividades de limpieza deben incluir la Inspección antes del comienzo de turnos, las actividades de limpieza que tienen lugar durante el trabajo, y las que se hacen al final del turno. Es importante establecer tiempos para estas actividades de modo que lleguen a formar parte natural del trabajo diario.

#### Paso 4. Preparar elementos para la limpieza.

Aquí aplicamos el Seiton a los elementos de limpieza, almacenados en lugares fáciles de encontrar y devolver. El personal debe estar entrenado sobre el empleo y uso de estos elementos desde el punto de vista de la seguridad y conservación de estos.

#### Paso 5. Implantación de la limpieza.

Retirar polvo, aceite, grasa sobrante de los puntos de lubricación, asegurar la limpieza de la suciedad de las grietas del suelo, paredes, cajones, maquinaria, ventanas, etc., Es necesario remover capas de grasa y mugre depositadas sobre las superficies de los equipos, rescatar los colores de la pintura o del equipo oculta por el polvo y no olvidar que las máquinas de trabajo no deben quedar con limallas o grasa provocadas por la labor.

Tabla 16. Aplicación Seiso (Limpieza).

| Aplicando Seiso |           |                     |                                |
|-----------------|-----------|---------------------|--------------------------------|
| Elemento        | Ubicación | Causa y/o condición | Acción sugerida                |
| Horno           | Fundición | En uso              | Limpieza de escoria y aleación |
| Cuchara         |           |                     |                                |

|       |  |  |                   |
|-------|--|--|-------------------|
| Molde |  |  | prendida en ella. |
|-------|--|--|-------------------|

Fuente: Autor.

*Estandarizar.* El objetivo del seiketsu es llegar a desarrollar condiciones de trabajo que eviten el retroceso en las primeras 3Ss.

Seiketsu es la metodología que permite mantener los logros alcanzados con la aplicación de las tres primeras "S". Si no existe un proceso para conservar los logros, es posible que el lugar de trabajo nuevamente llegue a tener elementos innecesarios y se pierda la limpieza alcanzada con las acciones planteadas.

Paso 1. Asignar trabajos y responsabilidades.

Para mantener las condiciones de las tres primeras `s, cada operario debe conocer exactamente cuáles son sus responsabilidades sobre lo que tiene que hacer y cuándo, dónde y cómo hacerlo. Si no se asignan a las personas tareas claras relacionadas con sus lugares de trabajo, Seiri, Seiton y Seiso tendrán poco significado.

Paso 2. Integrar las acciones Seiri, Seiton y Seiso en los trabajos de rutina.

El estándar de limpieza de mantenimiento autónomo facilita el seguimiento de las acciones de limpieza, y control de los elementos mecánicos, eléctricos etc. Estos estándares ofrecen toda la información necesaria para realizar el trabajo. El mantenimiento de las condiciones debe ser una parte natural de los trabajos regulares de cada día.

Tabla 17. Aplicación Seiketsu (Estandarización).

|                                  |
|----------------------------------|
| <i><b>Aplicando seiketsu</b></i> |
|----------------------------------|

| Elemento     | Área       | Acción sugerida                           |
|--------------|------------|---|
| Limpieza     | Producción | Elaboración y control de registros        |
| Herramientas | Bodega     | Elaboración y control de registros        |
| Procesos     | Producción | Elaboración y control de hojas de proceso |

Fuente: Autor.

*Disciplina.-* Shitsuke significa convertir en hábito el empleo y utilización de los métodos establecidos y estandarizados para la limpieza en el lugar de trabajo. Se obtendrán los beneficios alcanzados con las primeras "S" por largo tiempo si se logra crear un ambiente de respeto a las normas y estándares establecidos hasta este punto.

Las cuatro "S" anteriores se pueden implantar sin dificultad si en los lugares de trabajo se mantiene la Disciplina. Su aplicación garantiza que la seguridad será permanente, la productividad se mejore progresivamente y el desarrollo de las actividades sea óptimo.

Lo anterior expuesto resume los pasos y actividades a seguir para llevar a cabo la optimización del taller en los aspectos citados dentro del alcance, no obstante para tener un éxito seguro al aplicar la metodología es necesario que la coordinación de obra de HPC tenga las siguientes responsabilidades.

- Educar al personal sobre los principios y técnicas de las 5S y mantenimiento autónomo antes de iniciar el proceso, mediante charlas y material escrito.
- Crear un equipo promotor o líder para la implantación en el taller.
- Asignar el tiempo para la práctica de las 5S y mantenimiento autónomo.
- Suministrar los recursos para la implantación de las 5S.
- Motivar y participar directamente en la promoción de las actividades.
- Evaluar el progreso y evolución de la implantación en cada área de la empresa.
- Participar en las auditorías de progresos semanales.

Para dar seguimiento a la implementación de la metodología es necesario evaluar y medir el cumplimiento de las actividades, en este sentido se establecen como indicadores de seguimiento nuevamente las 5S, con el propósito fundamental de reducir las brechas ya indicadas con cada actividad ejecutada, de esta forma se manifiesta el uso del siguiente formato para evaluación y seguimiento.

### **5.3 Maquinas herramientas y equipos a utilizar.**

Durante el proceso de construcción, montaje e instalación de la máquina para la construcción del pirómetro de inmersión se utilizaron los siguientes equipos, herramientas:

Tabla 18. Equipos y herramientas utilizados en la construcción.

| Código | Equipos/ Herramientas |
|--------|-----------------------|
|--------|-----------------------|

|      |                                   |
|------|-----------------------------------|
| EH1  | Moladora                          |
| EH2  | Multímetro                        |
| EH3  | Martillo                          |
| EH4  | Alicates mastercut titacrom bimat |
| EH5  | Playo-pres. c/cortador 10"        |
| EH6  | Juego de desarmadores             |
| EH7  | Pistola de silicón                |
| EH8  | Taladro                           |
| EH9  | Remache                           |
| EH10 | Cierra                            |
| EH11 | Metro                             |
| EH12 | Lima                              |

Fuente: Autor.

#### **5.4 Lista de elementos de ensamble.**

En esta lista constan de elementos en los cuales serán indispensables para su montaje e identificación dentro del proceso.

Tabla 19. Elementos de ubicación o de ensamble.

| Partes | Elementos/Accesorios       |
|--------|----------------------------|
| 1      | Vaina Inconel alloy 600    |
| 2      | Termocupla tipo K          |
| 3      | Oxido de Magnesio          |
| 4      | Enchufe macho              |
| 5      | Enchufe hembra             |
| 6      | Manguito protector         |
| 7      | Abrazadera                 |
| 8      | Indicador de temperatura   |
| 9      | Fusible de 5 a 20 amperios |
| 10     | Caja térmica               |

Fuente: Autor.

### 5.5 Proceso de fabricación a utilizar

Para el proceso de construcción del pirómetro de inmersión deben tomarse en cuenta las siguientes consideraciones.

- El tipo de material a utilizarse en la construcción del pirómetro: Por ello será de un material de la familia Inconel alloy 600 ya que debe ser conductor y resistente a la deformación presente en el proceso, debido a que soportara altas temperaturas (1200<sup>0</sup>C), cumpliendo una maniobrabilidad del instrumento.
- Las formas, dimensiones, tipo de material de las piezas están detallados en los planos correspondientes.

Las partes principales constitutivas del prototipo se presentan en la tabla siguiente.

Tabla 20. Partes constitutivas del instrumento.

| Sistema                | Elemento                 | Cantidad | Material/ Modelo  |
|------------------------|--------------------------|----------|-------------------|
| Pirómetro de inmersión | Sensor de temperatura    | 1        | Inconel alloy 600 |
|                        | Indicador de temperatura | 1        |                   |

Fuente: Autor.

*Operaciones tecnológicas de la construcción.* Las principales operaciones tecnológicas necesarias para la construcción de esta máquina se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 21. Operación tecnológica ejecutada en la construcción del instrumento del pirómetro de inmersión.

| Sistema                | Elemento              | Partes          | Nº | Operación tecnológica  | Tiempo(min) |
|------------------------|-----------------------|-----------------|----|--|-------------|
| Pirómetro de inmersión | Sensor de temperatura | Termopar tipo K | 1  | Medir longitud   | 10          |
|                        |                       |                 | 2  | Cortar las puntas  | 10          |
|                        |                       |                 | 3  | Unir las puntas  | 10          |
|                        |                       |                 | 4  | Clasificar los colores (amarillo, rojo) con los signos(+, -) | 20          |
|                        |                       | Varilla Inconel | 5  | Medir diámetro   | 10          |
|                        |                       |                 | 6  | Medir ángulo   | 10          |



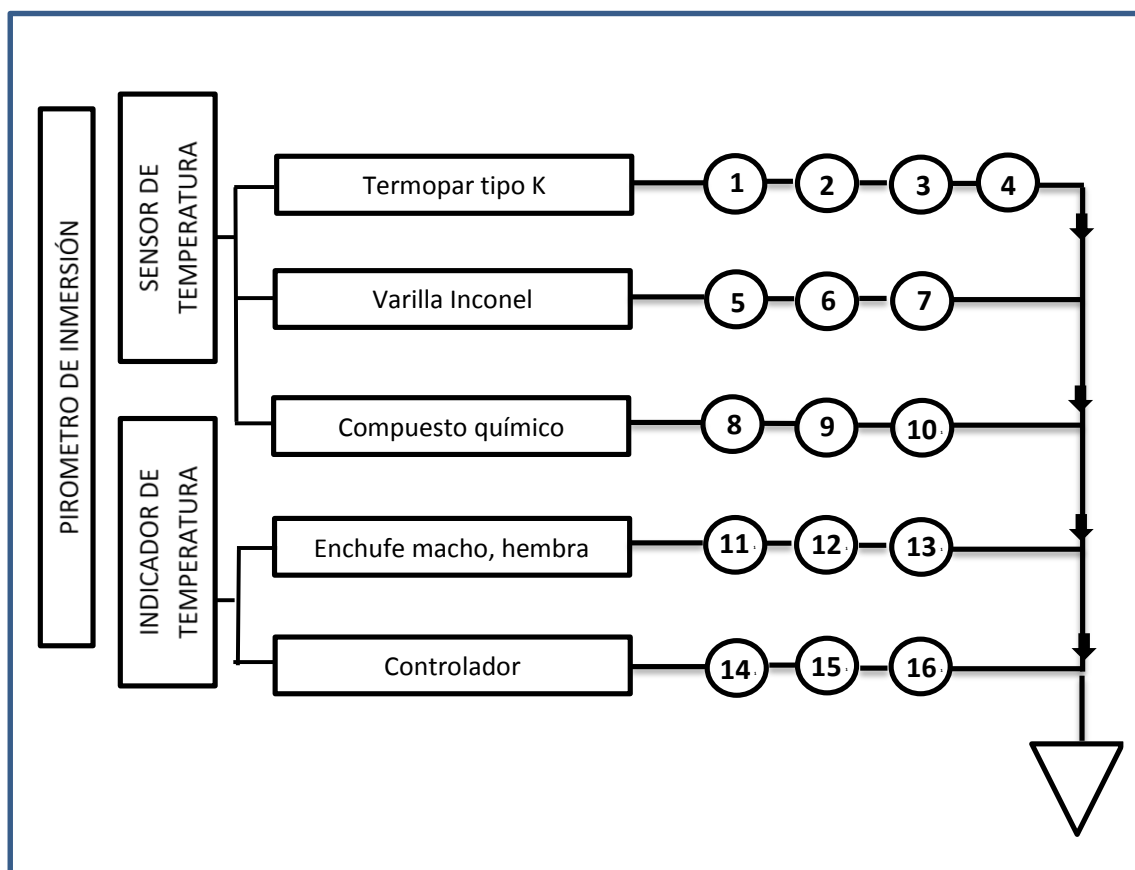
|  |                          |                       |    |   |    |
|--|--------------------------|-----------------------|----|---|----|
|  |                          | Compuesto químico     | 7  | Medir longitud  | 10 |
|  |                          |                       | 8  | Cuantificar el ácido de magnesio.                                 | 30 |
|  |                          |                       | 9  | Colocar Acido de Magnesio.  | 25 |
|  |                          |                       | 10 | Sellar la varilla.  | 25 |
|  | Indicador de temperatura | Enchufe macho, hembra | 11 | Seleccionar los colores (amarillo, rojo) con los signos(+, -)     | 20 |
|  |                          |                       | 12 | Cortar las puntas   | 10 |
|  |                          |                       | 13 | Ajustar los cables seleccionados.                                 | 10 |
|  |                          | Controlador           | 14 | Identificar la entrada (termocupla) y la salida (corriente 110v). | 30 |
|  |                          |                       | 15 | Conectar las puntas de las entradas                               | 10 |

|  |  |  |    |   |    |
|--|--|--|----|---|----|
|  |  |  |    | (termocupla) y salidas (corriente 110v).        |    |
|  |  |  | 16 | Ubicar un breque en la salida (corriente 110v). | 10 |

Fuente: Autor.

En el desarrollo de esta tabla los tiempos muertos que se dan entre operación y operación no se han incluido, por lo general son los que suelen ocasionar más demora. Estos tiempos dependen de varios factores imprescindibles que pueden extenderlos o acortarlos.

Tabla 22. Cursograma sinóptico de la construcción.



Fuente: Autor.

Figura 33. Caja térmica con el controlador de temperatura y el breque.



Fuente: Autor.

Figura 34. Vaina con enchufe recubierto.



Fuente: Autor.

## 5.6 Montaje del pirómetro

Se detalla el procedimiento grafico del montaje de cada uno de las partes del instrumento, denominado pirómetro de inmersión.

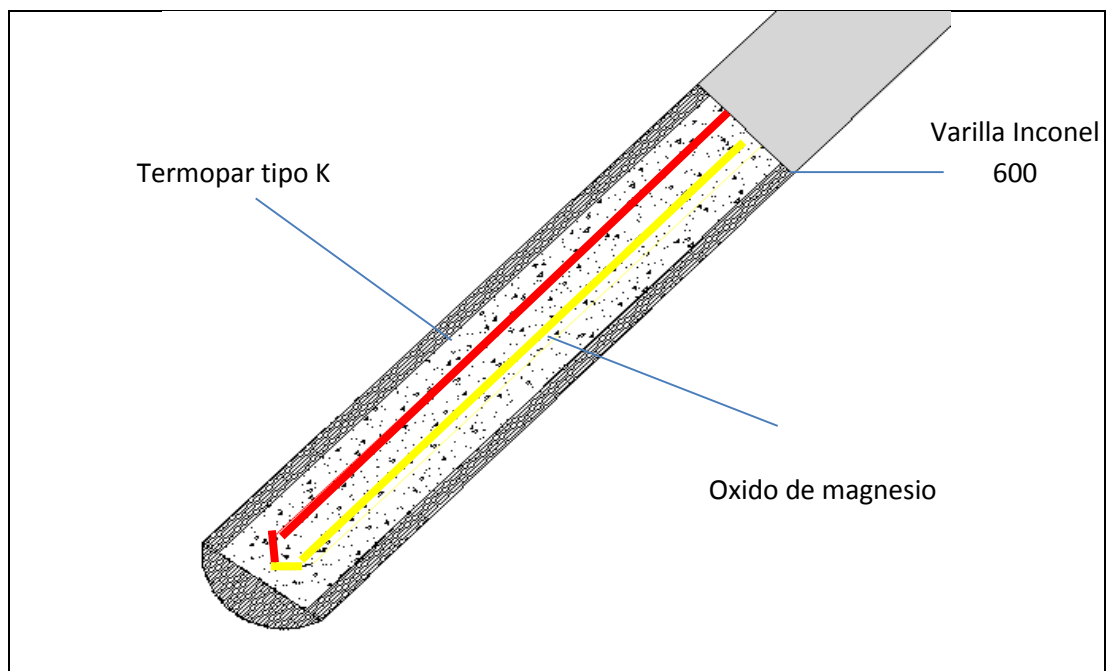
Figura 35. Sensor de temperatura.



Fuente: Autor.

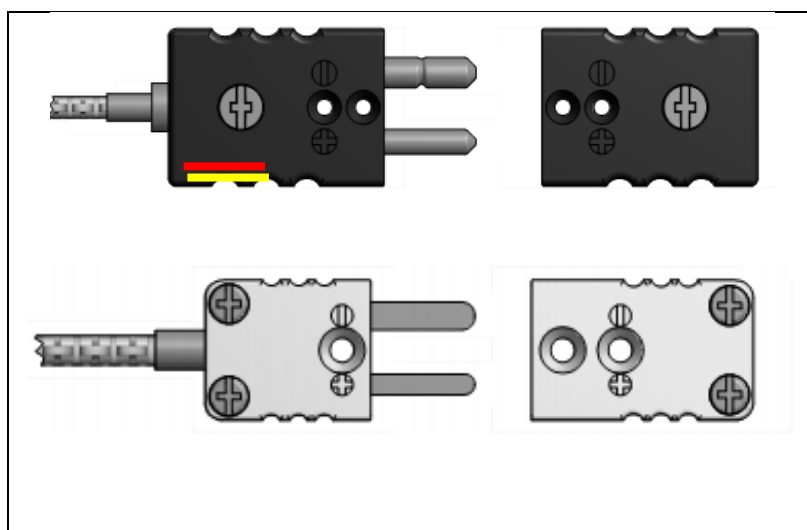
Las termocuplas compactadas se construyen insertando polvo de óxido de magnesio sobre los alambres (termopar) dentro del tubo metálico. El montaje de termopar consiste en un estampada en apisonada, aislamiento estándar de pureza (96%), magnesio mineral de óxido y provistas de un revestimiento metálico. La unidad, finalmente, es tratada térmicamente para aliviar las tensiones provocadas por la reducción del diámetro y para eliminar cualquier humedad residual.

Figura 36. Ampliación de la junta caliente.



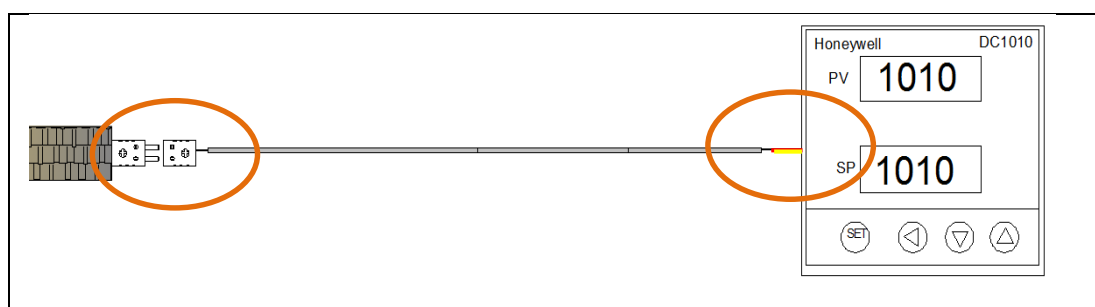
Fuente: Autor.

Figura 37. Ampliación del enchufe de conexión (macho y hembra).



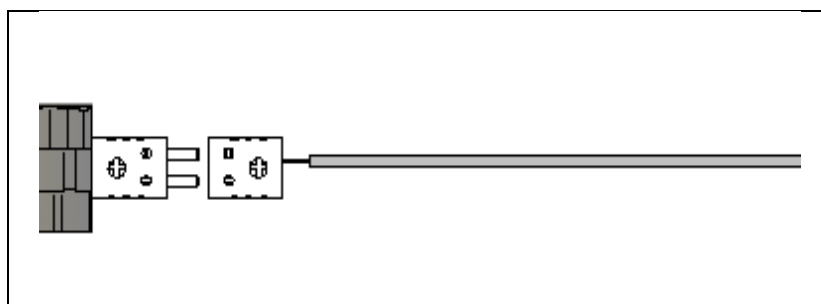
Fuente: Autor.

Figura 38. Indicador de temperatura.



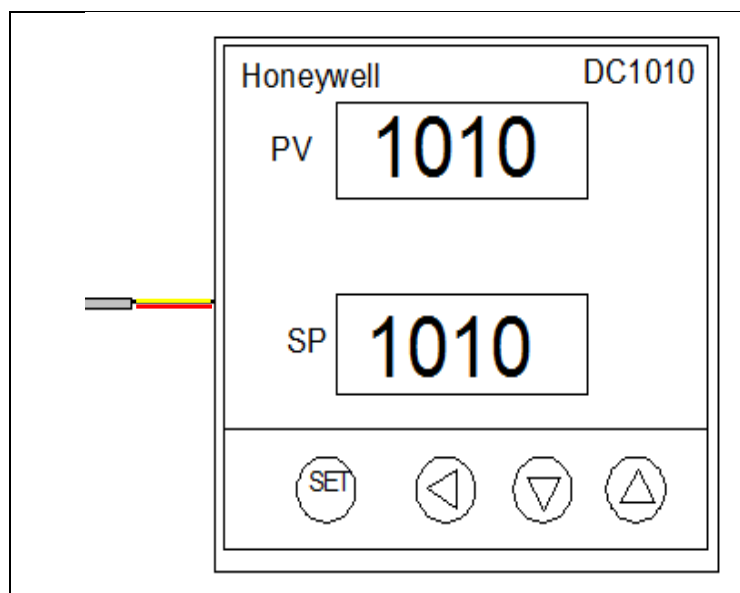
Fuente: Autor.

Figura 39. Conexión enchufe (embra).



Fuente: Autor.

Figura 40. Conexión al controlador de temperatura.



Fuente: Autor.

Figura 41. Pirómetro de inmersión ensamblado.



Fuente: Autor.



Figura 42. Inmersión del pirómetro en el horno crisol.



Fuente: Autor.

Figura 43. Muestra de la temperatura ambiente en el indicador digital.



Fuente: Autor.

## **CAPÍTULO VI**

### **6. PRUEBAS Y RESULTADOS DEL PIRÓMETRO DE INMERSIÓN.**

#### **6.1 Guía de prácticas en el Taller.**

*Elaboración de guía de prácticas.-* La presente guía de práctica se describe el procedimiento tanto del desarrollo del molde y también de la fusión del material este puede ser cualquier material no ferroso (Aluminio, Bronce, etc.). Se escribió con el fin de apoyar el proceso de aprendizaje de los estudiantes en lo que corresponde al momento de introducir el Pirómetro de inmersión y sus resultados de temperatura, para lo cual se realizó la siguiente práctica:

#### **PRÁCTICA N°1**

##### **TEMA: FUNDICIÓN DE ALUMINIO**

##### **OBJETIVO GENERAL.**

Realizar la fundición del aluminio (Material no ferroso) con los diferentes moldes, aplicando los conocimientos adquiridos en la teoría.

##### **OBJETIVO ESPECÍFICOS.**

- Aplicar los conocimientos teóricos en el procedimiento de la fusión y moldeo del Aluminio.
- Determinar mediante el pirómetro inmersión la temperatura de fusión del Aluminio.

##### **FUNDAMENTO TEÓRICO.**



Según la clase de que debe realizar el constructor de máquinas, en la ejecución de sus trabajos utiliza:

- a. Metales laminados o perfilados
- b. Metales forjados
- c. Elementos metálicos unidos entre sí por medio de ensambles o soldadura
- d. Piezas metálicas obtenidas por fundición o colado.

Estas últimas constituyen en la mayoría de los casos la parte preponderante de las máquinas, ya que el procedimiento de la fundición permite obtener fácil y económicamente piezas de diversas formas y tamaños y utilizar de modo conveniente algunos metales y aleaciones cuyas características particulares no los hacen aptos para la laminación, la forja o la soldadura, por ejemplo el hierro colado.

La fundición es, por lo tanto, una industria fundamental para la construcción de máquinas y exige una amplia cultura profesional en el que se dedica a ella, pues requiere conocimientos técnicos tan diversos como son el dibujo industrial, la mecánica de los cuerpos sólidos y fluidos, la óptica, la termología, la electrotecnia, la química, etc. Mucha experiencia en los recursos prácticos a los que a menudo hay que recurrir, así como capacidad especial para idear y aprovechar tales recursos.

La fundición además de una industria es también un arte: el moldeador, sin más ayuda que la de un modelo y algunas herramientas rudimentarias, puede producir piezas muy complejas realizando un trabajo que puede llamarse de escultor. Para terminar la pieza hace falta como en todos los demás procedimientos industriales, someter las materias primas (que en este caso es el metal en bruto fundido en lingotes y la chatarra) y las materias auxiliares (esto es, el combustible, las arenas, los aglutinantes etc.) A una serie de ordenadas de operaciones sucesivas que constituyen el llamado diagrama de trabajo, que para la industria de la que tratemos puede ser reducido al siguiente esquema.

## **Ejecución del modelo.**

Después de las debidas comprobaciones, el diseño para modelistas, si el modelo ha de ser de madera o a un mecánico especializado como si ha de construirse de metal. En colaboración con la fundición, el modelista o el mecánico o el modelista construyen el modelo teniendo en cuenta el sistema de moldeo que adoptara el fundidor, el grado de contracción del metal y los espesores de mecanización. Si la pieza ha de tener un hueco interior el modelista hará también la correspondiente caja de machos, almas, núcleos u hoyos.

## **Moldeo.**

Una vez comprobado el moldeo para el moldeador, quien debe hacer el molde o forma reproducción en negativo de la producción y las dimensiones de la pieza que ha de ser fundida. El molde puede ser:

- a. **Perdido (transitorio)** En este caso el molde se hace comprimiendo arena de fundición alrededor del modelo colocando en el interior un bastidor adecuado llamado caja después de la colada; se levanta la caja y se rompe el molde para extraer la pieza. Para hacer otra pieza es necesario rehacer el molde.
- b. **Permanente.** En este caso el molde se prepara sin ayuda de modelo alguno labrando directamente en negativo la pieza en uno o varios bloques de metal (generalmente hierro fundido o acero) que viene a constituir la coquilla que dura numerosas fundiciones algunas veces los moldes permanentes se hacen de yeso, de modo que sirvan para varias coladas con solo leves reparaciones cuando la pieza ha de tener huecos interiores el hoyo con la caja de machos u otros utensilios, hace los machos o hoyos convenientes. Los moldes perdidos son aptos para la colada de toda clase de metales y para piezas de cualquier dimensión; en cambio, los moldes permanentes en coquilla se adaptan especialmente para fundir pequeñas piezas sencillas y en gran número de un modo particular para metales de bajo grado de fusión (aleaciones de cobre de aluminio, de cinc, de plomo o similares). Los moldes de coquilla confieren en algunas aleaciones (por ejemplo al hierro fundido).

Características mecánicas especiales (un grado de dureza muy elevado) por que modifican profundamente su estructura; por ello se emplean para la colada de piezas que han de estar sometidas a un fuerte desgaste, como los cilindros de máquinas laminadoras, ruedas para ferrocarriles, bancadas para máquinas y herramienta, etc. Si la pieza de hierro fundido obtenido de los moldes de coquilla ha de ser trabajada posteriormente en máquinas de herramienta deben ser sometidas a un oportuno tratamiento térmico (por ejemplo, los tubos centrifugados)

### **Preparación de las arenas.**

Para los moldes perdidos es necesario preparar la arena, añadiéndoles las materias adecuadas para que adquieran las propiedades convenientes para el buen éxito de la colada. Estas propiedades son: permeabilidad, cohesión, refractariedad, dureza, etc.

### **Retoque del molde.**

Hecho el molde es necesario levantar la caja extraer el molde, perfilar y asentar las partes arrancadas, colocar los eventuales machos destinados a formar los huecos en el interior de las piezas, y volverlo a cerrar, incluso en los moldes de coquilla hay que colocar los machos (metálicos o de arena antes de cerrarlos de nuevo). Esta operación recibe el nombre de retoque de molde o recomposición de la forma.

### **Preparación del metal fundido.**

El metal se alienta a temperatura de fusión, es decir se reducirá del estado sólido al líquido. Esta operación puede realizarse en un horno de combustible o en un horno eléctrico, cada tipo de horno posee sus características, sus ventajas, sus inconvenientes, sus exigencias y sus aplicaciones particulares.

### **Colada**

Cuando el molde esta repasado y cerrada sólidamente de modo que resista la presión metalostática se puede introducir en el mismo el metal fundido a través de uno o más aberturas de colada (bebedero) previamente dispuestos en el molde.

### **Solidificación y enfriamiento.**

Después de la colada, se debe esperar que la pieza se solidifique y se enfríe en el molde. Las piezas pequeñas de molde especial las que se vacían en moldes de coquilla, se solidifican y enfrían en pocos instantes. Las mayores, coladas en moldes de arena requieren algunas horas más o menos, según sus dimensiones en cuanto a las piezas macizas de gran tamaño no son accesibles a las operaciones posteriores más que al cabo de algunos días.

### **Desmolde.**

Cuando la pieza se ha solidificado y enfriado hasta el punto de poder ser manipulada sin peligro, se procede al desmolde, bien se trate de coquillas o de cajas. Para realizar esta operación, después de levantar la caja se rompe el molde de arena con martillos o barras adecuadas. Los moldes permanentes de yeso y las coquillas metálicas solo han de abrirse ya que, después de sacada la pieza, deben ser utilizados nuevamente.

### **Acabado.**

La pieza extraída del molde está áspera, tiene incrustaciones de arena y las rebabas que corresponden a las juntas de la caja o de la coquilla y lleva unidos todavía bebederos, cargadores y mazarotas. Es necesario pulir la pieza, desprender los bebederos y los cargadores, desbarbarla, limpiarla con el chorro de arena etc., al objeto de mejorar su aspecto y hacerla apta para los procesos sucesivos.

### **EQUIPOS Y MATERIALES A UTILIZAR:**

- Pirómetro de inmersión
- Moldes de madera y aluminio.
- Chatarra (pistones).
- Arena de fundición (cal).
- Pala.
- Retacador.

- Cíncel.
- Martillo.
- Espátula.
- Cajas de moldes.
- Bases de tabla la caja de moldeo.
- Zaranda.
- Horno de Crisol.
- Quemador a gas.
- Limpiadores de escoria.
- Cuchara.
- Soplete.
- Equipos de protección.

#### **PROCEDIMIENTO PARA EL MOLDEO:**

1. Zarandear la arena para el moldeo.
2. Moldeo sobre el tablero
3. Modelo y caja inferior.
4. Se cubre el monde con arena de moldeo.
5. Se coloca la arena de relleno.
6. Atacado de la arena.
7. Rebalse de arena.
8. Rebalse apisonado.
9. Allanar la superficie de la caja.

- 10.** Gasificar la caja.
- 11.** Volteo de la caja.
- 12.** Alisar contra salida.
- 13.** Colocar la otra mitad del molde.
- 14.** Espolvorear gris o polvo seco.
- 15.** Soplar el polvo sobrante.
- 16.** Colocar la caja superior.
- 17.** Colocar bebederos y mazarotas.
- 18.** Poner arena de moldeo.
- 19.** Secar los bordes del molde alojado en la arena

Figura 44. Arena de moldeo.



Fuente: Autor.

Figura 45. Secado de los bordes del molde.



Fuente: Autor.

### **PROCEDIMIENTO DE LA FUSIÓN DEL MATERIAL:**

1. Se enciende el horno adecuado para la fundición del material.
2. Se calcula el peso del material (chátara).
3. Se introduce el material (chátara) al horno.
4. Se espera que el material se funda (tiempo de espera )
5. Se introduce el pirómetro de inmersión, para medir la temperatura de fusión.
6. Se recibe la colada (material fundido) en la cuchara.
7. Se limpia la escoria de la colada con el escoriador.
8. Se procede a colocar en los moldes.
9. Se deja solidificar y enfriar la pieza fundida para finalmente extrae.

Figura 46. Encendido del horno crisol.



Fuente: Autor.

Figura 47. Colocación del material (chátara) al horno.



Fuente: Autor.

Figura 48. Pirómetro de Inmersión en el puesto de trabajo.



Fuente: Autor.

Figura 49. Ubicación de la colada en la cuchara.



Fuente: Autor.

Figura 50. Solidificación y enfriamiento de la pieza.





Fuente: Autor.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **CONCLUSIONES.**

Con los conocimientos teóricos del proceso de la fundición del Aluminio realizamos esta práctica y obtuvimos lo anhelado (moldes de aluminio).

Mediante el pirómetro de inmersión se logró obtener resultados numéricos en la fundición de aluminio, llegando a medir una temperatura de  $650^{\circ}\text{C}$ .

### **RECOMENDACIONES.**

Luego de haber introducido en instrumento en el horno a cualquier temperatura y haber obtenido resultados de medición, esperar que el instrumento llegue a enfriarse para realizar otras mediciones. El enfriamiento (conducción) puede ser más rápido si se introduce en arena para moldeo.

### **BIBLIOGRAFIA.**

CAPELLO Eduardo, “tecnología de la fundición”, Editorial Gustavo Pili, S.A. Barcelona, 1987.




















LUCCHESI, Domenico, “tecnología de la fundición”, Editorial Laboral S.A., Barcelona 1972.

PASTOR Mario, “apuntes de Fundición” Facultad de Ingeniería Mecánica.

TITOV, STEPANOV, “Tecnología del proceso de fundición”, editorial, Moscu: MIR, 1981.

*Elaboración de la hoja de proceso de la fundición del Aluminio.-* En efecto de poder lograr la identificación de proceso de fundición del aluminio mediante herramientas como es la elaboración de hojas de procesos para el conocimiento de las diferentes actividades que se llevan a cabo en el taller de fundición. Para ello se tomó como ejemplo para una mejor ilustración la hoja de procesos de la fundición del Aluminio:

Tabla 23. Diagrama de procesos de fundición de material no ferroso.

| DIAGRAMA DEL PROCESO <i>TIPO HOMBRE</i>   |   |                                     |                                 |  |                                  |
|---|---|-------------------------------------|---------------------------------|--|----------------------------------|
| <b>Empresa:</b><br>ESPOCH   | <b>Operación:</b> Fundición                             |                                     |                                 |  | <b>Estudio</b><br>Nº : 01        |
| <b>Departamento:</b><br>Producción  | <b>Operario:</b> Varios<br><b>Máquina:</b> Horno Crisol | <b>Analista:</b><br>Edgar Pomaquero | <b>Método:</b><br><i>Actual</i> | <b>Fecha:</b><br>2012/11<br>/17  |                                  |
| <b>Plano No:</b>  |   |                                     |                                 |  | <b>Equival</b><br><b>encias:</b> |
| <b>Pieza No:</b>  |   |                                     |                                 |  |                                  |
| Símbolos  | Nº<br>ope.  | Distancia<br>(m)                    | Tiempo<br>o                     | Descripción del proceso  |                                  |
|  ⇒ □ ▢ ▽   |   |                                     | 5min                            | Se enciende el horno.  |                                  |
|  ⇒ □ ▢ ▽   |   |                                     |                                 | Se dirige al material (chátara)  |                                  |
|  ⇒ □ ▢ ▽   |   |                                     | 5min                            | Se calcula el peso del material (chátara)                                    |                                  |
|  ⇒ □ ▢ ▽   |   |                                     | 10min                           | Se introduce el material (chátara) al horno.                                 |                                  |
|  ⇒ □ ▢ ▽   |   |                                     | 40min                           | Se espera que el material se funda.  |                                  |
|  ⇒ □ ▢ ▽   |   |                                     |                                 | Se inspecciona el color del material fundido.                                |                                  |
|  ⇒ □ ▢ ▽   |   |                                     | 2min                            | Se introduce el pirómetro de inmersión, para medir la temperatura de fusión. |                                  |
|  ⇒ □ ▢ ▽   |   |                                     | 1min                            | Se recibe la colada (material fundido) en la cuchara.                        |                                  |
|  ⇒ □ ▢ ▽   |   |                                     | 30seg                           | Se añade los desgasificadores y se remueve la colada.                        |                                  |
|  ⇒ □ ▢ ▽   |   |                                     | 20seg                           | Se limpia la escoria de la colada con el escoriador.                         |                                  |
|  ⇒ □ ▢ ▽   |   |                                     |                                 | Se dirige a los moldes.  |                                  |
|  ⇒ □ ▢ ▽   |   |                                     | 2min                            | Se procede a colocar en los moldes.  |                                  |
|  ⇒ □ ▢ ▽   |   |                                     | 24 h                            | Se deja solidificar y enfriar la pieza.                                      |                                  |
|  ⇒ □ ▢ ▽   |   |                                     | 15min                           | Se retira del molde y se almacena.   |                                  |
| <div> Inspecció     Transporte     Demora     Operación     Almacenaje</div> |   |                                     |                                 |  |                                  |

## 6.2 Puesta a punto del Instrumento.

*Plan de pruebas.*- Las pruebas que se realizaron en el instrumento previo a su presentación final fueron las siguientes:

### 6.2.1 Blindaje del pirómetro de inmersión.

1) La resistencia a la deformación, alargamiento, tensión o esfuerzo en función de la temperatura.

*a) Resistencia a la deformación y alargamiento.*- El tiempo de respuesta también depende del espesor de la pared del tubo o la vaina. Cuanto más delgada es la pared, más rápida es la respuesta. Puesto que una de las funciones importantes de los tubos y vainas es brindar resistencia mecánica, habrá un compromiso en el espesor de la pared entre su velocidad de respuesta y su vida útil.

Tabla 24. Propiedades mecánicas del acero Inconel aleación 600

| Propiedades Mecánicas Inconel 600  |          |
|------------------------------------|----------|
| Alargamiento ( % )                 | <50      |
| Dureza Brinell                     | 120-290  |
| Impacto Izod ( J m <sup>-1</sup> ) | 160      |
| Módulo de Elasticidad ( GPa )      | 157      |
| Resistencia a la Tracción ( MPa )  | 600-1200 |

Fuente: Autor.

Cuando un material se calienta, se expande, si la expansión no es restringida, las dimensiones del material se incrementan, pero no se genera ningún esfuerzo. Pero si se

restringe la deformación en el material, se impedirá que sus dimensiones cambien, por lo que se presentarán esfuerzos en las mismas.

De forma general, durante una transferencia de calor, la energía que está almacenada en los enlaces intermoleculares entre dos átomos cambia. Cuando la energía almacenada aumenta, también lo hace la longitud de estos enlaces. Así, los sólidos normalmente se expanden al calentarse y se contraen al enfriarse; este comportamiento de respuesta ante la temperatura se expresa mediante el coeficiente de expansión térmica

despejamos:

$$\Delta L = \alpha L \Delta T$$

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L \Delta T}$$

$\Delta L$ : incremento en la longitud  
 $\Delta T$ : variación de la temperatura  
 $\alpha$ : coeficiente de dilatación lineal

El  $\alpha_m$  se expresa como parte por millón por grado centígrado:

$$\alpha_m = \frac{10^{-6}}{^{\circ}C} = \frac{\mu m}{(m^{\circ}C)}$$

Tabla 25. Propiedades generales del acero Inconel aleación 600.

| Propiedades              |                               |   |
|--------------------------|-------------------------------|---|
| DENSIDAD                 | 8.47 g/cm <sup>3</sup>        | 0.306 lb/pulg. <sup>3</sup>                               |
| PUNTO DE FUSIÓN          | 1413 °C                       | 2575 °F   |
| COEFICIENTE DE EXPANSIÓN | 13.3 μm/m °C<br>(20 - 100 °C) | 7.4 x 10 <sup>-6</sup><br>pulg./pulg. °F<br>(70 - 212 °F) |
| MÓDULO DE RIGIDEZ        | 75.6 kN/mm <sup>2</sup>       | 10965 ksi   |
| MÓDULO DE ELASTICIDAD    | 206 kN/mm <sup>2</sup>        | 29878 ksi   |

Fuente: Autor.

Tabla 26. Propiedades térmicas del acero Inconel aleación 600.

Table 3 - Thermal Properties

| Temperature | Coefficient of Expansion  | Electrical Resistivity | Thermal Conductivity         | Specific Heat |
|-------------|---------------------------|------------------------|------------------------------|---------------|
| °F          | 10 <sup>-6</sup> in/in•°F | ohm•circ•mil/ft        | Btu/in/ft <sup>2</sup> •h•°F | Btu/lb•°F     |
| -250        | 6.0                       | -                      | 86                           | 0.073         |
| -200        | 6.3                       | -                      | 89                           | 0.079         |
| -100        | 6.7                       | -                      | 93                           | 0.090         |
| 70          | 5.8                       | 620                    | 103                          | 0.106         |
| 200         | 7.4                       | 625                    | 109                          | 0.111         |
| 400         | 7.7                       | 634                    | 121                          | 0.116         |
| 600         | 7.9                       | 644                    | 133                          | 0.121         |
| 800         | 8.1                       | 657                    | 145                          | 0.126         |
| 1000        | 8.4                       | 680                    | 158                          | 0.132         |
| 1200        | 8.6                       | 680                    | 172                          | 0.140         |
| 1400        | 8.9                       | 680                    | 186                          | 0.145         |
| 1600        | 9.1                       | 686                    | 200                          | 0.149         |
| 1800        | 9.3                       | 698                    | -                            | -             |
| 2000        | -                         | 704                    | -                            | -             |
| °C          | μm/m•°C                   | μΩ•m                   | W/m•°C                       | J/kg•°C       |
| -150        | 10.9                      | -                      | 12.5                         | 310           |
| -100        | 11.7                      | -                      | 13.1                         | 352           |
| -50         | 12.3                      | -                      | 13.6                         | 394           |
| 20          | 10.4                      | 1.03                   | 14.9                         | 444           |
| 100         | 13.3                      | 1.04                   | 15.9                         | 465           |
| 200         | 13.8                      | 1.05                   | 17.3                         | 486           |
| 300         | 14.2                      | 1.07                   | 19.0                         | 502           |
| 400         | 14.5                      | 1.09                   | 20.5                         | 519           |
| 500         | 14.9                      | 1.12                   | 22.1                         | 536           |
| 600         | 15.3                      | 1.13                   | 23.9                         | 578           |
| 700         | 15.8                      | 1.13                   | 25.7                         | 595           |
| 800         | 16.1                      | 1.13                   | 27.5                         | 611           |
| 900         | 16.4                      | 1.15                   | -                            | 628           |

Fuente: [http://www.alloywire.com/spanish/inconel\\_alloy\\_600.html](http://www.alloywire.com/spanish/inconel_alloy_600.html)

Una vaina de sensor de temperatura para hornos de crisol de materiales no ferrosos tiene una longitud nominal de 609,6mm. Si la vaina es de acero INCONEL 600, se calcula el alargamiento que causa un cambio de temperatura de 15°C a 900°C.

## DATOS

Vaina de acero INCONEL 600;

Longitud = L = 609,9mm.

Temperatura inicial = 15°C

Temperatura final = 900°C

## ANALISIS

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 900^\circ\text{C} - 15^\circ\text{C}$$

$$\Delta t = 885^\circ\text{C}$$

## RESULTADOS

$$\alpha = 16,4 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\Delta L = (16,4 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}) (609,9\text{mm}) (885 \text{ } ^\circ\text{C})$$

$$\Delta L = 8,8\text{mm} \text{ (Incremento de longitud o alargamiento)}$$

*b) Las tensiones térmicas.-* Son tensiones inducidas en un cuerpo como resultado de cambios en la Temperatura. Tensiones resultantes de la expansión y contracción térmicas combinadas: Considérese una varilla de un sólido homogéneo e Isotrópico que se calienta o enfría uniformemente. Si por ejemplo el movimiento axial de la varilla, se restringe por extremos rígidos, serán introducidas tensiones térmicas. La magnitud de esa tensión que resulta de una temperatura absoluta T.

$$\sigma = E\alpha (T_o - T_f) = E\alpha T$$

E: Modulo de elasticidad.

$\alpha$ : Coeficiente deformación lineal.

T: ( $T_o - T_f$ )

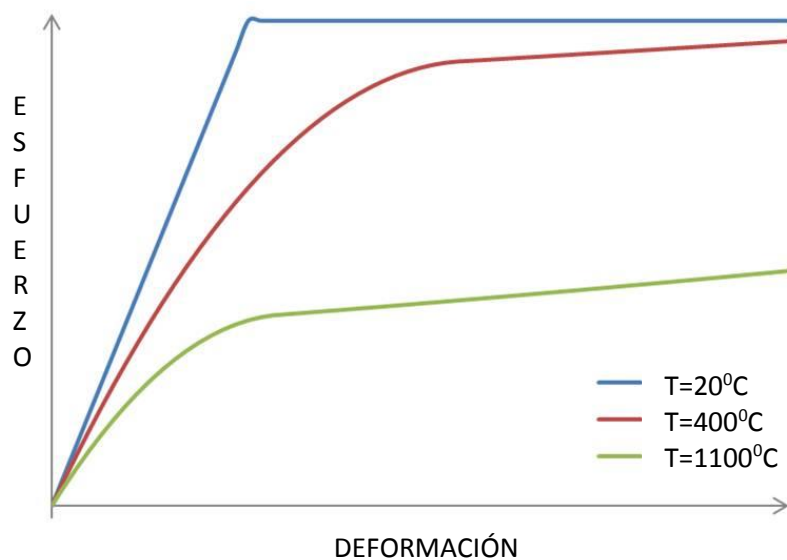
Si  $\sigma$  es  $< 0$  porque el proceso es de calentamiento ( $T_f > T_o$ ) la tensión es compresiva.

$$\sigma = E \alpha (T_o - T_f)$$

$$\sigma = 206 \text{ KN/mm}^2 * 13,3 \text{ um/m}^\circ\text{C} * (-885^\circ\text{C})$$

$$\sigma = -2,4 \times 10^6$$

c) *Esfuerzos resultantes de Gradientes de Temperatura.* - Cuando un sólido se calienta o enfría la distribución interna de la Temperatura dependerá de su tamaño, forma y de la conductividad térmica del material como también de la velocidad del cambio de Temperatura. Los esfuerzos térmicos se pueden establecer como resultado de gradientes de Temperatura a través del cuerpo, las cuales son frecuentemente causados por calentamiento rápido o enfriamiento rápido en el que la Temperatura cambia más rápidamente afuera que adentro del material.



## 2) Conductividad térmica.

Los métodos generalmente utilizados para minimizar el tiempo de respuesta consisten en proveer un contacto entre el sensor y el interior de la vaina por medio de una carga, o bien obtener una tolerancia estrecha entre el diámetro exterior de la vaina y el diámetro

interior. Esto minimiza la separación de aire que hace más lenta la transferencia de calor desde la vaina al sensor. Pero en nuestro caso para tener mayor conductividad térmica añadimos dentro de la vaina el óxido de magnesio, con ello brinde al sensor señales analógicas inmediatas.

- Coeficiente de Expansión Térmica @20-100C (  $\times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  )      11,5-13,3
- Conductividad Térmica a 23C (  $\text{W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$  )      14,8

El Inconel aleación 600, cuenta con una excelente conductividad térmica sobrepasando toda expectativa teórica, por la forma de la vaina y el diámetro ayuda para que sea un buen trasmisor de la temperatura expuesta en el horno crisol para materiales no ferrosos.

#### **6.2.2** *Sensor del pirómetro de inmersión.*

a) El límite de temperatura en la termocupla.

El sensor de temperatura seleccionado fue un termocupla tipo K, ya que fue diseñado para cierto grado de temperatura, por eso se mantuvo restricciones en el termopar, ya que el sensor cumplió los parámetros de temperatura que establece los creadores de la termocupla tipo K. Para comprobar su resistencia se introducir el termopar cubierto con la vaina a la fundición del Bronce Fosfórico que funde a una temperatura de 1090 °C, dando resultados favorables para su aceptación y puesta en marcha cuando así lo requieran.

b) Tránsito a la variación de temperatura.

Se produce una variación de una temperatura ambiente a ir incrementando de acuerdo a la temperatura que se encuentre el sensor, si se introduce a una temperatura mayor de la del ambiente esta recibirá la temperatura con el principio de conductividad térmica.

#### **6.2.3** *Compuesto químico del pirómetro de inmersión.*



a) Transferencia de calor.

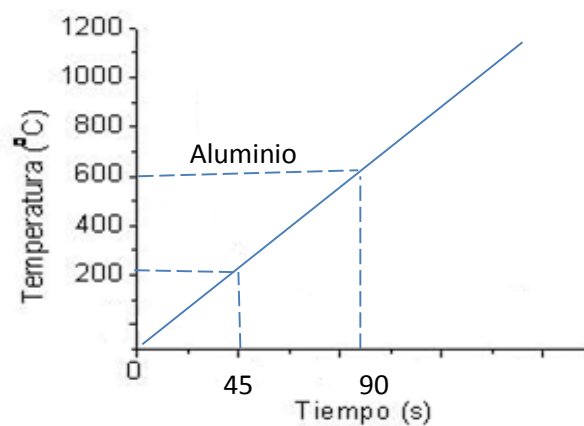
Debido al compuesto químico que es el Óxido de Magnesio nos permite obtener una gran ayuda a la vaina por ser el mejor conductor térmico ya que este compuesto absorbe fácilmente la humedad que pueda producirse en la vaina y también impregna dióxido de carbono cuando se expone al aire. Dando así una mayor transferencia de calor.

#### 6.2.4 Indicador de temperatura del pirómetro de inmersión.

a) Tiempo que indica la temperatura.

Mientras la temperatura incrementa se requiere de la espera de tiempo para que llegue a indicarse en la pantalla, esto quiere decir cuando se introduce el sensor de temperatura dentro del horno de crisol este recibe señales analógicas para enviar al controlador digital de temperatura

Figura 51. Grafica temperatura en función del tiempo.



Fuente: Autor.

b) Restricciones de temperatura.

Posee el controlador digital Modelo DC1010CT111000-E, HONEWELL ciertas restricciones para mostrar en su pantalla, debido a que se permite procesar temperaturas menores a los 1200 °C.

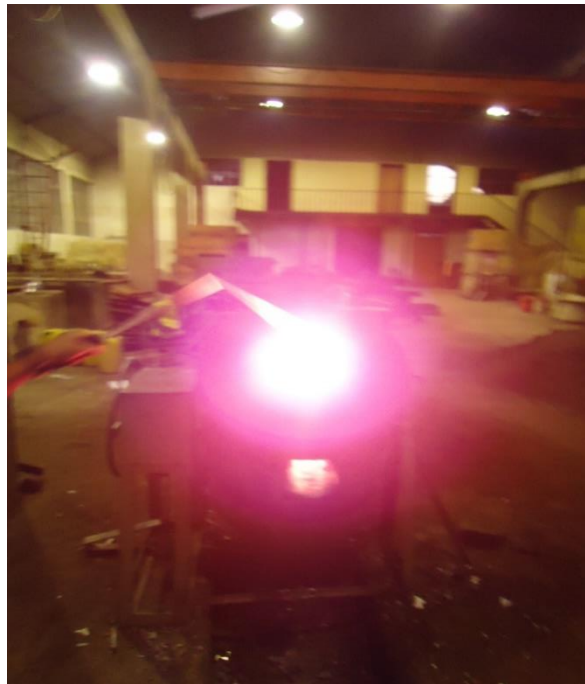
### 6.3 Prueba de funcionamiento.

La descripción y resultados del plan de pruebas son:

Una muy buena ejecución del cada una de los elementos con sus respectivas aplicaciones, esto implica desde que el sensor de temperatura se introduce dentro del horno de crisol, hasta cuando envía las señales analógicas, al controlador digital de temperatura.

Para verificar su aplicación se introdujo la vaina en el horno Crisol cuando se fundía Bronce fosfórico a  $1090^{\circ}\text{C}$ , con dos horas de fundición del material. Como el instrumento denominado “PIRÓMETRO DE INMERSIÓN” cumplió todos los parámetros establecidos antes durante y después de introducir a la colada, con ello pudimos constatar que cumplió con: Conductividad térmica, resistencia mecánica, fiabilidad, confiabilidad. Entre otras propiedades.

Figura 52. Inmersión del pirómetro al horno de crisol, fundición del bronce fosfórico.



Fuente: Autor.

El pirómetro de inmersión fue diseñado y construido para censar las temperaturas y mostrar en el controlador digital. Pasando de operar un procedimiento empírico a un Procedimiento técnico, comparando información teórica con la práctica.

## CAPÍTULO VII.

### 7. COSTOS

#### 7.1 Costos Directos.

En el siguiente análisis económico se pretende dar una descripción general de todos los gastos realizados para obtener el valor de la inversión realizada en la construcción e implementación del instrumento.

##### 7.1.1 Costos de materiales mecánicos.

Tabla 27. Costos materiales y accesorios mecánicos.

| Material    | Descripción  | Unidad | Cantidad | P. unit. | Costos |
|-------------|--|--------|----------|----------|--------|
| Inconel 600 | K43GM-040-224-4,HT<br>1/4 Inch Diameter Inconel 600 Sheath Grounded<br>Junction Sheath Length:40 Inches Sheath Bend 45 Degrees Hot Leg Length: 24 Inches ( longitud A)<br>Standard Male Plug – 725 Degrees F | 1      | 1        | 194,26   | 194,26 |
| Acero       | Brocade talabro  | 1      | 1        | 5,50     | 5,50   |

|              |                   |    |    |       |        |
|--------------|-------------------|----|----|-------|--------|
| Acero        | Disco de corte    | 1  | 1  | 13,50 | 13,50  |
| Aluminio     | Remache           | 50 | 50 | 0,10  | 5,00   |
| Acero        | tornillos         | 20 | 20 | 0,05  | 1,00   |
| Aluminio     | Soporte en perfil | 2m | 2m | 5,00  | 10,00  |
| <b>TOTAL</b> |                   |    |    |       | 229,26 |

Fuente: Autor.

El costo total en materiales mecánicos para el instrumento es de 229, 26 Usd.

#### **7.1.2** *Costos de material eléctrico y electrónico.*

Tabla 28. Costos de materiales y accesorios eléctricos, electrónicos.

| <b>Cantidad</b> | <b>Descripción</b>   | <b>V/Unit.</b> | <b>Costo</b> |
|-----------------|--|----------------|--------------|
| 1               | Controlador Digital, Modelo DC1010CT111000-E MARCA HONEYWELL | 196,08         | 196,08       |

|              |  |       |               |
|--------------|--|-------|---------------|
| 1            | Enchufe macho y hembra para termopares | 25,00 | 25,00         |
| 5 mtrs       | Cable para termocupla TIPO K           | 4,73  | 23,65         |
| 1            | Breque de 5 A, 120 V                   | 5,00  | 5,00          |
| 10 mtrs      | Cable gemelo N12                       | 0,70  | 7,00          |
| 1            | Toma corriente y un interruptor.       | 3,00  | 3,00          |
| 1            | Caja térmica 15x20                     | 25,00 | 25,00         |
| <b>TOTAL</b> |  |       | <b>284,71</b> |

Fuente: Autor.

El costo de materiales eléctricos y electrónicos del instrumento es de: 284,71 usd.

### **7.1.3** *Costos de maquinarias y equipos utilizados o adquiridos.*

Tabla 29. Costos por maquinaria y equipos utilizados o adquiridos.

| Maquina/Herramienta   | Costo/Hora      | Horas Equipo/<br>Herramienta | Costos |
|-----------------------|-----------------|------------------------------|--------|
| Moladora              | 4               | 5                            | 20,00  |
| Multímetro            | -               | -                            | 12,00  |
| Pistola de silicón    | -               | -                            | 12,00  |
| Taladro               | 5               | 5                            | 25,00  |
| Remache               | 3               | 4                            | 12,00  |
| Otras herramientas    | -               | -                            | 25,00  |
| Herramientas manuales | 5% Mano de Obra |                              | 90,00  |
| TOTAL                 |                 |                              | 196,00 |

Fuente: Autor.

El costo de Costos por maquinaria y equipos utilizados *o adquiridos* es de: 196,00 usd.

#### 7.1.4 Valor total de los costos Directos.

El valor total por costos directos es:

Tabla 30. Valor total de costos directos.

| Costo por:                                    | Valor (usd)   |
|---|---------------|
| Materiales y accesorios mecánicos             | 229,26        |
| Material eléctrico y electrónico              | 284,71        |
| Maquinarias y equipos utilizados o adquiridos | 196,00        |
| <b>TOTAL DE COSTOS DIRECTOS</b>               | <b>709,97</b> |

Fuente: Autor.

## 7.2 Costos Indirectos.

Tabla 31. Costos Indirectos.

| Detalle                | Cantidad (% CD) | Valor (Usd) |
|------------------------|-----------------|-------------|
| Asesorías Ingenieriles | 20%             | 141,99      |

|                                |     |               |
|--------------------------------|-----|---------------|
| Imprevistos                    | 25% | 177,49        |
| <b>TOTAL COSTOS INDIRECTOS</b> |     | <b>319,48</b> |

Fuente: Autor.

### **7.3 Costos totales.**

Los costos totales equivalen a la suma de los costos directos más los costos indirectos, sumados estos dos valores se tiene el valor de \$1029,95 (Mil veintinueve dólares con noventa y cinco centavos).

## **CAPÍTULO VIII**



## **8. MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL INSTRUMENTO**

### **8.1 Manual de Operación.**

Antes de proceder a la práctica del proceso de fundición de los materiales no ferrosos es conveniente observar los siguientes pasos:

- a) Conectar línea de energía, según la acometida eléctrica.
- b) Energizar la caja térmica de control de temperatura.
- c) Comprobar que todos los elementos funcionen correctamente, para esto se utiliza los mandos manuales.
- d) Conectar el cable de extensión con el sensor de temperatura (varilla junta caliente y junta fría).
- e) Verificar que fue enchufado correctamente sus polaridades (+ y -)
- f) Observar el block de bornes (indicador de temperatura) que se encuentre en temperatura ambiente.
- o) Inspeccionar que el material introducido en el horno se encuentre fundido, para allí introducir el pirómetro de inmersión desde luego para introducir el pirómetro dependerá del tipo de material, mientras su punto de fusión sea mayor este demorara mucho más tiempo en hacerse colada.
- p) Una vez introducido el pirómetro, visualizar la pantalla en el block de bornes la temperatura de fusión del material.

### **8.2 Manual de mantenimiento.**

### **8.2.1** *Mantenimiento por operación.*

Revisar que los mismos estén en lo mayor posible limpios, es decir libre de polvo y partículas extrañas. De la misma manera verificar que el block de bornes esté limpia, si no es así, se recomienda limpiar las zonas, y toda la parte interna que incluye breque, conexiones, etc. Para este caso, debido al lugar de trabajo se debe mantener en constante inspección. Se debe de limpiar la varilla de la junta caliente de cualquier partícula, escoria o material adherido a la misma para luego ser utilizado.

### **8.2.2** *Mantenimiento del Instrumento.*

*El mantenimiento de los termopares.\_* Se reduce a evitar golpes que fisuren la funda de Introducción de protección. Es conveniente revisar el estado del termopar una vez por mes, pudiendo variar según la rigidez del servicio. Si se comprueba que el termopar ha sido contaminado con elementos extraños, lo recomendable es verificar el mili voltaje de respuesta y si es del caso reemplazarlo ya que no admite otro tipo de calibración. Si la temperatura no debe ser medida o controlada en forma continua, coloque interruptores que saque de servicio al instrumento.

*El mantenimiento del vaina INCONEL 600.\_* Estudios realizados en el laboratorio indican que el uso "in-situ" de esta técnica aumenta en por lo menos un factor de 10 el tiempo de iniciación. El alivio de tensiones de los tubos de Inconel 600 en el rango de temperaturas de 650-760 ° C puede producir sensibilización (la formación de regiones con colapso de cromo cerca de los límites de grano), sin embargo, esto puede no ser un problema para la aleación Inconel 600 con carburos intergranulares y bajo contenido de carbono en la solución sólida. Inconel 600 esta tratado térmicamente.

El mantenimiento que se requiere para este instrumento no es tan riguroso. Sin embargo se prevé un mantenimiento de tipo preventivo, en las partes eléctricas, para garantizar su buen funcionamiento.

- a) Antes de empezar con la producción, es importante revisar e inspeccionar todos los elementos móviles tales como la vaina inconel 600, termopares, enchufe macho y hembra, etc.
- b) Después de cada jornada de trabajo del instrumento se debe limpiar todas las partículas de producto y de polvo depositadas en el área de trabajo tanto como el sensor de temperatura y el indicador de temperatura. Y demás mecanismos.
- c) Comprobar regularmente ajuste de tornillos, pernos, soportes, tuercas, cinta, etc.
- d) Revisar cada seis meses todos los elementos del instrumento y verificar que todos sus elementos trabajen correctamente.
- e) Cambiar cable y conexiones después de haber cumplido su vida útil.

Tabla 32. Problemas frecuentes y posibles soluciones.

| Problema   | Causa                               | Posible solución                     |
|--|-------------------------------------|--------------------------------------|
| No enciende el indicador de temperatura          | Breque dañada                       | Cambiar Breque                       |
|  | Corto circuito en las conexiones.   | Cambiar las instalaciones del cable. |
| No indica en la pantalla la temperatura censada. | Exceso de temperatura en el sensor. | Dejar enfriar la vaina, y verificar  |
|  | Cables del termopar rotos.          | Cambiar los termopares.              |

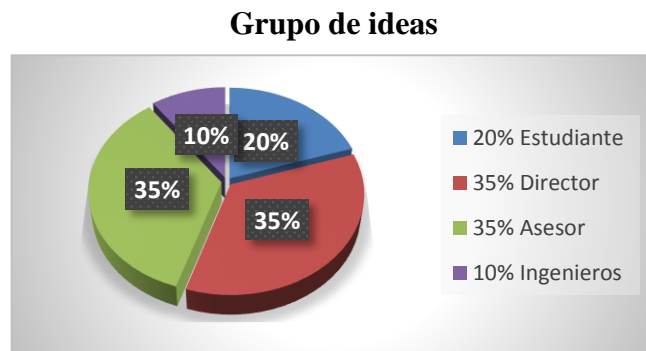
Fuente: Autor.

## CAPÍTULO IX

### 9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 9.1 Conclusiones

Una vez realizado la recopilación de información con el método de generación de ideas con un gran aporte del Director, Asesor, Estudiantes e Ingenieros y a su vez generando alternativa de diseños basándose en especificaciones requeridas, se logró identificar las ventajas y desventajas en un 100%, mediante la matriz morfológica.



Se pudo identificar el diseño final con el aporte de la matriz de evaluación que de forma directa identificamos el instrumento que constan de una termocupla tipo K, con una vaina de material inconel alloy 600, que permita indicar la temperatura en un controlador digital Modelo DC1010CT111000-E”.

| Criterio           | Variable | Valor |
|--------------------|----------|-------|
| Manufacturabilidad | Mf       | 1     |
| Seguridad          | S        | 2.5   |
| Mantenimiento      | Mn       | 0.5   |
| Costos             | C        | 2.5   |
| Tamaño             | T        | 1     |
| Peso               | P        | 1     |
| Resistencia        | R        | 0.5   |

|              |   |           |
|--------------|---|-----------|
| Durabilidad  | D | 0.5       |
| Eficiencia   | E | 0.5       |
| <b>TOTAL</b> |   | <b>10</b> |

### Matriz de evaluación

| Aspecto                  | Alternativas            | Criterios de evaluación de alternativas (Matriz de evaluación) |                |              |                |          |              |                |                |                | Total |
|--------------------------|-------------------------|--|----------------|--------------|----------------|----------|--------------|----------------|----------------|----------------|-------|
|                          |                         | Ma<br>f<br>(1)   | S<br>(2.5<br>) | Man<br>(0.5) | C<br>(2.5<br>) | T<br>(1) | P<br>(1<br>) | R<br>(0.5<br>) | D<br>(0.5<br>) | E<br>(0.5<br>) |       |
| Termocupla               | Tipo K                  | 1  | 2.5            | 0.5          | 2.0            | 1        | 1            | 0.5            | 0.5            | 0.5            | 9.5   |
|                          |                         |  |                |              |                |          |              |                |                |                |       |
| Vaina                    | Inconel alloy 600       | 1  | 2.5            | 0.5          | 2.0            | 1        | 1            | 0.5            | 0.5            | 0.5            | 9.5   |
|                          |                         |  |                |              |                |          |              |                |                |                |       |
| Indicador de temperatura | Modelo dc1010ct 111000- | 1  | 2.5            | 0.5          | 2.0            | 0.5      | 1            | 0.5            | 0.5            | 0.5            | 9.0   |

De entre los elementos del instrumentos para medir la temperatura en hornos de crisol. Se construyó el instrumento denominado pirómetro de inmersión con todas las características de diseño, construcción y con ello se acopla a las necesidades requeridas como el de identificar la temperatura de hasta 1180°C, su trabajo será significativo debido a que se necesita cuantificar los valores.

Como el material se ve sometido a un cambio de temperatura de 15 °C a 900°C, se procede a un alargamiento de 8,8 mm que es considerable dentro de sus parámetros. El valor del cambio de longitud estará dado de acuerdo al coeficiente de expansión térmica, el cual dependerá del tipo de material con el que se está fundiendo.

Los coeficientes de seguridad de cada elemento que conforman el instrumento para medir la temperatura de los hornos en materiales no ferrosos son de alta calidad y una buena confiabilidad, debido a ello los costos totales de fabricación son de \$1029,95 ya que la función que van a realizar requiere de elementos robustos y resistentes a altas temperaturas.

## **9.2 Recomendaciones**

Es necesario que se tenga mucho cuidado con la vaina como sensor de temperatura frente a caídas o golpes. Esto puede dañar elementos internos y por ende evitar la transferencia de calor.

Al reubicar el indicador de temperatura instalada, tener presente la distancia de ubicación con respecto al horno para evitar deformaciones o baños por exceder el límite de temperatura admitida (100°C).

Tener presente la profundidad de inmersión de la vaina ya que tendrá que hacer contacto con la colada del material no ferroso, a fin de asegurar la mayor transferencia de temperatura.

Utilizar únicamente cables de extensión según el tipo de termopar y a distancia menor de 5 m, para que no produzca errores de medición.

La limpieza de cualquier elemento siempre se lo debe hacer con el equipo apagado, ya que los elementos con temperaturas elevadas podrán causar accidentes graves.

Para el mantenimiento del instrumento se debe seguir cuidadosamente los pasos descritos en el Capítulo VIII. De ello dependerá el correcto funcionamiento de la misma y así se asegura la vida útil del instrumento que la compone.

El incursionar en proyectos de construcción e implementación del instrumento para medir la temperatura en los hornos de materiales no ferrosos nos ofrece una gran perspectiva de la Ingeniería, especialmente en nuestra facultad ya que aquí podemos aportar con tecnología en este campo. Por ello se recomienda a los futuros profesionales a orientarse en proyectos relacionados a esta área en el desarrollo de nuestra facultad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] <http://www.buenastareas.com/ensayos/Metales-No-Ferrosos/1229080.html>
- [2] <http://www.iestiemposmodernos.com/depart/dtec/Recursos/metalesno-ferrosos.pdf>
- [3] <http://www.slideshare.net/AndresPazos/universidad-tecnica-de-ambato-f>
- [4] <http://www.inci-horbas.blogspot.com/>
- [5] <http://www.unet.edu.ve/~ielectro/sensores.pdf>
- [6] HARO, Marco A. Medina. Instrumentación Industrial - Ingeniería de Mantenimiento-Facultad de Mecánica- ESPOCH. Año 2005.
- [7] [http://www.sapiensman.com/medicion\\_de\\_temperatura/termocuplas2.htm](http://www.sapiensman.com/medicion_de_temperatura/termocuplas2.htm)
- [8] <http://es.scribd.com/doc/73227333/termopares>
- [9] <http://iindustrial.obolog.com/medidor-temperatura-termopar-86703>



## **BIBLIOGRAFÍA**

ANDERSON. Ciencia de los metales, Mexico D.F. ILMUSA S.A de C.V, 1998.

AVNER, Sydney. “Introducción a la Metalurgia Física” Edición II Editorial tierra firme, 1988.

CAPELLO, Eduardo, “tecnología de la Fundición” Editorial Gustavo Gili, S.A Barcelona, 1987.

COCA, P. Manual del aluminio, 2da edición, Editorial reverte S.A.

GREUS, A. “Instrumentación Industrial”

MEDIDAS EN PROCESOS. Técnicos, Editorial SEA.

MIGUEL, Cross. Métodos de Diseño.

MOROW. “Manual de mantenimiento Industrial”

PASTOR, Mario. “Apuntes de fundición” Facultad de Ingeniería Mecánica.

STEPANOV, Tito. “tecnología del proceso de Fundición”, Editorial, Moscú: MIR, 1981.

STEPANOV, T. Tecnología del proceso de Fundición. Editorial, Moscú: MIR.

## **LINOGRAFÍA**

### **TERMOPARES/ PERMOCUPLAS.**

<http://es.wikipedia.org/wiki/Termopar>

<http://www.metas.com.mx/guiametas/La-Guia-MetAs-02-07-TC.pdf>

<http://www.sciempresa.com/informaci%C3%B3n%20t%C3%A9cnica/News/show/elegir-el-tipo-de-sensor-de-temperatura-y-su-instalaci%C3%B3n-191>

[http://www.fing.edu.uy/iimpi/.../080306-Sensores-parte\\_II.temperatura](http://www.fing.edu.uy/iimpi/.../080306-Sensores-parte_II.temperatura)

<http://sensgeneradoreslograzzo.blogspot.com/2009/02/9-construccion-de-termopares.html>

2012-06-15

### **MATERIALES NO FERROSOS.**

[http://es.wikipedia.org/wiki/Metal\\_no\\_ferroso](http://es.wikipedia.org/wiki/Metal_no_ferroso)

<http://www.areatecnologia.com/materiales.htm>

<http://www.mitecnologico.com/Main/SensoresDeTemperatura>

<http://icytsa.com/4613/index.html>

[http://www.wika.com.mx/TC47\\_NT\\_es\\_es.WIKA](http://www.wika.com.mx/TC47_NT_es_es.WIKA)

2012-06-25

### **METODOLOGÍA DEL DISEÑO.**

[http://www.inymet.com.mx/web\\_inymet/ingenieria\\_y\\_metrologia/informacion/informacion/termopares.pdf](http://www.inymet.com.mx/web_inymet/ingenieria_y_metrologia/informacion/informacion/termopares.pdf)

<http://www.arian.cl/downloads/man-im400-s>

[http://oa.upm.es/1669/1/MONO\\_TREMPS\\_2009\\_01](http://oa.upm.es/1669/1/MONO_TREMPS_2009_01)

2012-07-17

### **INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL.**

[http://www.uhv.es/sites/pecas/doc/poster\\_instrumentacion\\_LSAP.pdf](http://www.uhv.es/sites/pecas/doc/poster_instrumentacion_LSAP.pdf)

<http://prof.usb.ve/srevolla/Archivos/Instru/medici%C3%B3n%20de%20temperatura.pdf>

2012-08-28

## HORNOS CRISOL

[http: ://www.nabertherm-horno.com/horno\\_de\\_crisol.htm](http://www.nabertherm-horno.com/horno_de_crisol.htm)

2012-09-10

## PROPIEDADES DEL MATERIAL INCONEL 600

[http://www.alloywire.com/spanish/inconel\\_alloy\\_600.html](http://www.alloywire.com/spanish/inconel_alloy_600.html)

2012-09-28

## FORMULA DEFORMACIÓN Y ESFUERZO

<http://es.scribd.com/doc/49876446/deformacion-por-temperatura>

2012-12-05